



## Klimaændringer og mulige effekter på dyre- og plantelivet i danske farvande

**Gustavson, Kim; Buch, E.; Dahl, Karsten; Middelboe, Anne Lise; Borum, Jens; MacKenzie, Brian; Visser, Andre; Clausen, Preben; Møhlenberg, Flemming; Gustavson, Kim**

*Total number of authors:*

11

*Publication date:*

2001

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Gustavson, K. (Ed.), Buch, E., Dahl, K., Middelboe, A. L., Borum, J., MacKenzie, B., Visser, A., Clausen, P., Møhlenberg, F., Gustavson, K., & Wängberg, S-Å. (2001). *Klimaændringer og mulige effekter på dyre- og plantelivet i danske farvande*. Skov- og Naturstyrelsen.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

6. april 2001

# **NOTAT**

## **Klimaændringer og mulige effekter på dyre- og plantelivet i danske farvande**

**Kim Gustavson, DHI - Institut for Vand og Miljø.**

**Med bidrag fra:**

**Erik Buch, Danmarks Meteorologiske Institut.**

**Karsten Dahl, Danmarks Miljøundersøgelser - Afdeling for havmiljø.**

**Anne Lise Middelboe og Jens Borum, Ferskvandsbiologisk Laboratorium.**

**Brian R. MacKenzie og Andre W. Vissen, Danmarks Fiskeriundersøgelser.**

**Preben Clausen, Danmarks Miljøundersøgelser - Afdeling for Kystzoneøkologi.**

**Fleming Møhlenberg, Anders Eriksen, Karen Edelvang, Klavs Bundgaard, Kristine Garde og Kim Gustavson, DHI - Institut for Vand og Miljø.**

**Sten-Åke Wängberg, Göteborg Universitet.**

# Kolofon

**Titel:** Klimaændringer og mulige effekter på  
dyre- og plantelivet i danske farvande

**Bedes citeret:** Kim Gustavson (red.), DHI –  
Institut for Vand og Miljø, 2001.

**Udgivet af:** Wilhjelmudvalget, november 2001

**Sekretariat:** Skov- og Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
DK-2100 København Ø  
Tlf: 39 47 20 00  
E-mail: [sns@sns.dk](mailto:sns@sns.dk)  
Internet: [www.sns.dk](http://www.sns.dk)

**Redaktion:** Kim Gustavson, DHI – Institut for  
Vand og Miljø.

**Forsidedesign:** Page Leroy-Cruce

**Oplag:** 300 eks.

**ISBN:** 87-7279-343-0

**Tryk:** Skov- og Naturstyrelsens trykkeri

**Papirkvalitet:** Cyclus Office 90g

**Pris:** Gratis

**Sideantal:** 42

Publikationen kan læses på Skov- og Naturstyrelsens hjemmeside  
eller fås i Miljøbutikken, Læderstræde 1-3, 1201  
København K  
Tlf: 33 95 40 00  
Fax: 33 92 76 90  
E-post: [butik@mem.dk](mailto:butik@mem.dk)

Publikationen må citeres med kildeangivelse.

## Kort om Wilhjelmudvalget

Wilhjelmudvalget blev nedsat af regeringen med den opgave at udarbejde et grundlag for en national handlingsplan for biologisk mangfoldighed og naturbeskyttelse. Tidligere industriminister Nils Wilhjelm blev formand for udvalget.

I Wilhjelm-udvalget deltog 35 medlemmer som repræsentanter for jordbrugs- og fiskerierhvervene, natur- og friluftsfamilier, forskningsinstitutioner, berørte myndigheder mv.

Udvalgets arbejde er et bidrag til regeringens forberedelse til FNs Verdenstopmøde om Bæredygtig Udvikling i 2002. Udvalget afgav sin rapport til regeringen d. 23. august 2001. Rapporten findes på Skov- og Naturstyrelsens hjemmeside [www.sns.dk](http://www.sns.dk).

Udvalget nedsatte 4 arbejdsgrupper for henholdsvis naturkvalitet og naturovervågning, havets natur, landbrug, økonomi og velfærd, som hver har udarbejdet en rapport. Endvidere blev der udarbejdet en række faglige udredninger af Danmarks Miljøundersøgelser, Forskningscenter for Skov og Landskab, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole m.fl., som har dannet grundlag for udvalgets arbejde. Dette materiale udtrykker således ikke nødvendigvis i alle henseender udvalgets opfattelse.

## Wilhjelmudvalgets sekretariat

Udvalget blev sekretariatmæssigt betjent af Skov- og Naturstyrelsen, der nedsatte et særligt sekretariat til løsning af opgaven. I sekretariatet deltog: kontorchef Henrik Knuth-Winterfeldt, fuldmægtig Henrik Wichmann, biolog Tine Nielsen Skafte, agronom Jørn Jensen, hortonom Lone Bjørn, overassistent Angelise Johansen.

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>BAGGRUND .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>KLIMATISKE ÆNDRINGER .....</b>	<b>4</b>
2.1	TEMPERATURSTIGNING.....	4
2.2	ØGET NEDBØR .....	4
2.3	ÆNDRET SALINITET .....	5
2.4	VANDSTANDSSTIGNING .....	6
2.5	STORMAKTIVITET .....	6
<b>3</b>	<b>EFFEKTER AF FREMTIDIGE KLIMAFORANDRINGER PÅ DYRE- OG PLANTELIVET I DANSKE FARVANDE.....</b>	<b>6</b>
3.1	ØGET VÆKST AF PLANKTONALGER .....	7
3.2	EFFEKTER PÅ MAKROALGER OG ÅLEGRÆS.....	8
3.3	EFFEKTER PÅ FØDEGRUNDLAGET FOR FISK.....	10
3.4	ILTSVIND .....	10
3.5	EFFEKTER PÅ FISK.....	11
3.6	EFFEKTER PÅ FUGLE .....	12
<b>4</b>	<b>YDERLIGERE ASPEKTER.....</b>	<b>13</b>
4.1	EFFEKTER AF EN ØGET ATMOSFÆRISK TILFØRSEL AF KVÆLSTOF ER IKKE MEDTAGET I NOTATET .....	13
4.2	ØGET VÆKST SOM FØLGE AF ØGET CO <sub>2</sub> KONCENTRATIONER .....	13
<b>5</b>	<b>REFERENCER.....</b>	<b>15</b>

Effekter af klimaforandringer på de danske farvandes oceanografi  
/Erik Buch Danmarks Meteorologiske Institut.

Øget vækst af planktonalger i havet som en følge af klimaændringer  
/Anders Eriksen, Kim Gustavson, Karen Edelvang, Klavs Bundgaard og Kristine Garde, DHI - Institut for Vand og Miljø.

Klimaeffekter på stenrevs vegetation  
/Karsten Dahl, Danmarks Miljøundersøgelser.

Effekter af klimaændringer på makroalger og ålegræs i danske farvande  
/Anne Lise Middelboe og Jens Borum, Ferskvandsbiologisk Lab., Københavns Universitet.

Mulige effekter af temperaturstigninger på fødegrundlaget for fisk i havet. /Flemming Møhlenberg og Kim Gustavson, DHI-Institut for Vand og Miljø, Sten-Åke Wängberg, Göteborg Universitet.

Øget sandsynlighed for iltsvind i danske farvande – negative effekter på bunddyr og bundlevende fisk./Kim Gustavson og Flemming Møhlenberg, DHI - Institut for Vand og Miljø.

Effekten af klimaændringer på fisk i farvandene omkring Danmark.  
/Brian R. MacKenzie og Andre W. Visser, Danmarks Fiskeriundersøgelser.

Klimaændringer og mulige effekter på rastende bestande af vandfugle.  
/Preben Clausen, DMU, Afdeling for Kystzoneøkologi. Notat af 7/2-2001 indsat af Skov- og Naturstyrelsen.

# 1 BAGGRUND

Følgende notat er udarbejdet for Skov- og Naturstyrelsen i december 2000. Notatet omhandler mulige biologiske effekter af fremtidige klimaændringer. Notatet skal bl.a. anvendes i forbindelse med Wilhjelmsudvalgets arbejde med en handlingsplan for biodiversitet og naturbeskyttelse som skal foreligge i løbet af 2001. Danmarks Meteorologiske Institut, Danmarks Fiskeriundersøgelser, Ferskvandsbiologisk Laboratorium (Københavns Universitet), Danmarks Miljøundersøgelser og DHI-Institut for Vand og Miljø har leveret bidrag til notatet. Kun klimaforandringer forårsaget af den menneskeskabte udledning af CO<sub>2</sub> er medtaget i notatet.

Der er i dag generel enighed om at den menneske skabte udledning af CO<sub>2</sub> i fremtiden vil påvirke jordens klima. Til trods for en del spredning i resultaterne forudsiger de fleste globale og regionale klimamodeller en stigende temperatur, øget nedbør og stigende vandstand for det Nordeuropæiske/Skandinaviske område. Danmarks Klimacenter/Danmarks Meteorologiske Institut har de seneste år gennemført en række klimasimuleringer med såvel globale som regionale modeller for udviklingen de kommende 50 – 100 år (Christensen, 2000).

Der arbejdes stadig intenst på at forbedre klimamodellerne, herunder hvordan en global opvarmning vil påvirke havstrømmene. Som alle andre forudsigelser er også klimaforudsigelserne fra modelsimuleringerne behæftet med usikkerhed. Imidlertid forudsiger klimamodellerne så markante forandringer i temperatur, nedbør m.m. at dette må indrages i fremtidige vurderinger af bl.a. havmiljøet udvikling.

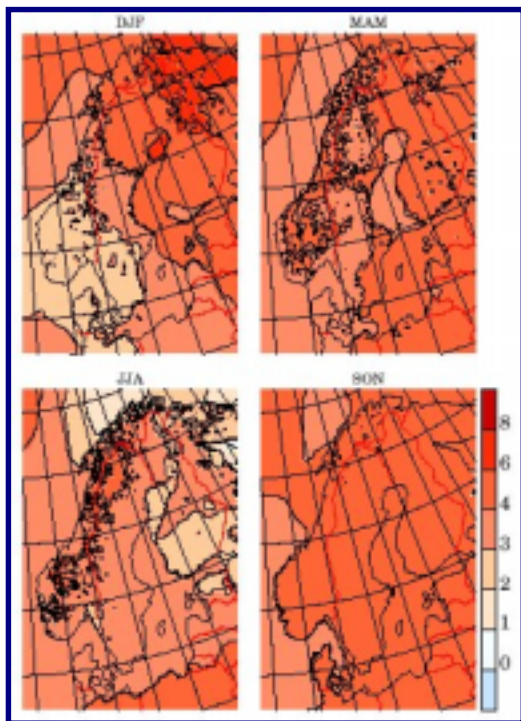
Det relative milde klima der findes i Nordeuropa og Skandinavien skyldes de store mængder varme som Golfstrømmen transportere og afgiver til dette område. Denne havstrøm udgør en del af den globale thermohaline cirkulation, som drives ved at det varme, salte vand i Nordatlanten afkøles, og derved bliver så tungt at det synker ned til stor dybde. Det nedsunkne vand strømmer herefter sydover og videre til de øvrige dele af verdenshavet. En global opvarmning vil øge afsmeltningen af is i Det Arktiske Ocean og på Grønland eventuelt kombineret med øget nedbør stoppe nedsynkningsprocesser der er driverkraften af bl.a. golfstrømmen.

I det følgende gennemgås de vigtigste resultater af betydning for det marine miljø i de danske farvande. I nedestående bidrag ”Effekter af klimaforandringer på de danske farvandes oceanografi” emnet behandlet mere detaljeret.

## 2 KLIMATISKE ÆNDRINGER

### 2.1 Temperaturstigning

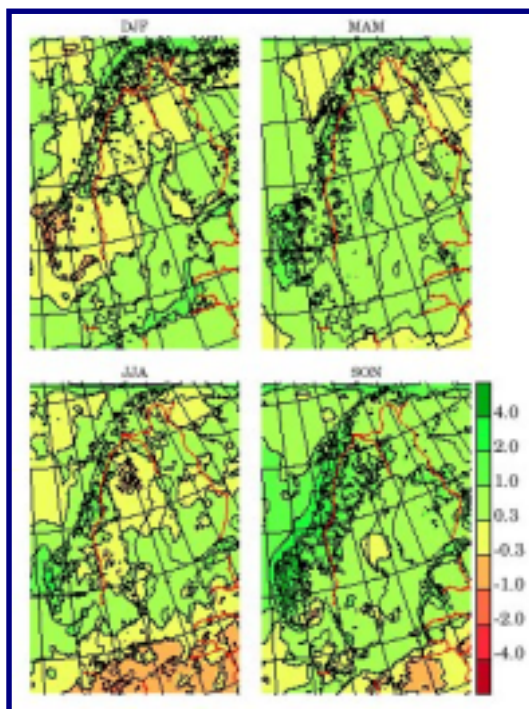
Lufttemperaturen er beregnet til at stige ca. 4°C i perioden frem til år 2075, med en ret jævn fordeling over området og henover året (Figur 1). En undtagelse ses for vinterforholdene over Sydsandinavien og Danmark, hvor opvarmningen kun er forudsat til 1 - 2°C. Dette vil medføre en generel opvarmning af havområdernes overfladelag (øverste 10 - 20 m) med tilsvarende værdier.



Figur 1. Forskel i simuleret lufttemperatur ved jordoverfladen (grader Celsius) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår. Figuren er baseret på 10 års tidsudsnitsberegninger udført ved Danmarks Klimacenter med modellen HIRHAM4 (Christensen, 2000).

### 2.2 Øget nedbør

Nedbøren forventes generelt at øges for alle fire årstider, med en lille tendens til noget tørre somre i den sydøstlige del af regionen (Figur 2). Afstrømningen vil relativt blive større end nedbøren, fordi grundvandsmagasiner generelt vil være mere fyldte. Herefter vil en større og større mængde af nedbøren resultere i ren afstrømning. Da Østersøen har et stort afvandingsområde, vil Østersøen modtage 30-50% mere ferskvand end i dag. Dette vil betyde en reduktion i overfladesaliniteten og samtidig en væsentligt kraftigere vandtransport ud igennem de indre danske farvande.



Figur 2. Forskel i simuleret nedbør (mm/dag) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår. Figuren er baseret på 10 års tidsudsnits-beregninger udført ved Danmarks Klimacenter med modellen HIRHAM4 (Christensen, 2000)

## 2.3 Ændret salinitet

I Pedersen, F.B & Møller, J.S. (1981) er der opsat en række (lineariserede) ligninger, der tilsammen kan benyttes til en grov estimering af konsekvenser på salinitet og springlagsdannelse ved ændringer i ferskvandstilstrømningen til Østersøen. Ønskes en mere detaljeret undersøgelse af eventuelle effekter af øget ferskvandstilstrømning til Østersøen, vil en model som Farvandsmodellen være et stærkt analyseværktøj. Estimaterne indikerer, at saliniteten i overfladen af den centrale del af Østersøen må forventes at falde 1 - 2 ‰, mens saliniteten i bundvandet vil falde 0,5 - 1 ‰. I de danske bælter vil faldet ligge på omkring 0,5 – 1,5 ‰ i overfladen, mens overfladevandet i Kattegat må forventes at falde med 1 – 2,5 ‰. Den procentvis største ændring vil ske i den centrale del af Østersøen, hvorimod det største absolutte fald forventes i overfladevandet i Kattegat.

Springlaget må desuden forventes at blive presset lidt nedad i alle farvande. Beregningerne viser dog, at dette fald vil være relativt beskedent, omkring 0,5 - 1 meter. Med hensyn til springlaget er det mere interessant at se på styrken af springlaget. Her må det forventes, at der vil være et kraftigere springlag, især i Kattegat, hvor bundvandet ikke påvirkes af øget ferskvandstilstrømninger, og de absolutte ændringer i overfladens saltholdighed er størst. Et kraftigere springlag vil mindske opblanding af bundvand med overfladevand, og dermed øges risikoen for hyppigere og længerevarende problemer med iltsvind - især i Kattegat.

En samlet effekt af opvarmningen og den forøgede nedbør vil i fremtiden radikalt ændre afstrømningen til havet. I dag er den største afstrømning om foråret, når sne i bjergene smelter. I 2075 vil forårsafstrømningen blive mindre p.g.a. af den mindre sne i bjergene, og maksimum vil ligge tidligere på året. Samtidig er der kommet et nyt maksimum, der skyldes forøget nedbør om efteråret og en senere frost. Simuleringen viser, at der bliver væsentligt mindre sne om vinteren over hele Skandinavien, især i de norske og svenske fjelde. Dette giver en ændring af hele det årlige mønster for vandets kredsløb over den Skandinaviske Halvø, idet tøbruddet om foråret helt ændrer karakter.

.

## **2.4 Vandstandsstigning**

Prognoser for vandstandsændringen de kommende 100 år varierer meget afhængigt af, hvilken model der anvendes. Globale vandstandsstigning i intervallet 0,14 – 0,70 m frem til år 2100 er beregnet i forskellige modeller. Duun-Christensen (1992) har beregnet, at en global middelvandstandsstigning på 0,50 m vil medføre en vandstandsstigning på 0,33 – 0,46 m i de danske farvande under forudsætning af, at de nuværende vertikale landbevægelser fortsætter med samme rate som gennem de seneste 100 år. Effekter af vandstandsstigninger har primært fokuseret på fysiske ændringer af kystlinier samt naturligvis en øget frygt for oversvømmelser, men vandstandsstigninger kan desuden have en direkte indflydelse på lavvandede økosystemer samt marskområder, der måske i fremtiden vil blive oversvømmet og dermed radikalt ændre biologisk karakter.

## **2.5 Stormaktivitet**

Simuleringer af stormaktiviteten i Nordatlanten indikerer, at områderne med kraftig stormaktivitet rykker lidt mod øst i forbindelse med en forøget drivhuseffekt. Det betyder, at hyppigheden og styrken af storme i løbet af de kommende 75 år forventes at stige i Danmark og nordøst herfor.

# **3 EFFEKTER AF FREMTIDIGE KLIMAFORANDRINGER PÅ DYRE- OG PLANTELIVET I DANSKE FARVANDE**

De omtalte klimaændring kan have en lang række direkte og indirekte effekter på dyreplantelivet i de danske farvande. I det følgende er behandlet mulige effekter af klimaforandringer på plante- og dyreplanktonet, makroalger, ålegræs og fisk, samt på udbredelsen og hyppigheden af iltsvind.

En øgning af temperaturen vil generelt øge hastighederne, hvormed de biologiske processer foregår, herunder tilvækst, omsætning og nedbrydning. Derudover vil de generelt højere temperaturer også påvirke udbredelsen af de enkelte arter, konkurrenceforholdene mellem arterne, strukturer og funktioner af økosystemer m.m.



Som beskrevet ovenfor, forudsiger modelberegninger, at nedbøren i 2075 bliver 30% større end i dag, og at afstrømningen til danske farvande bliver øget med helt op til 50%. I det ovenstående er det antaget, at en øget afstrømning vil medføre en øget tilførsel af næringsalte til vandmiljøet. Dette forhold er overbevisende demonstreret under det Nationale Overvågningsprogram. Det betyder, at selv hvis Vandmiljøplan II slår fuldt igennem, vil en øget afstrømning forårsaget af klimaændringer alt andet lige medføre en øget udvaskning af næringsalte til havet. En vigtig forudsætning er dog, at landbrugspraksis og landbrugsareal ikke ændres væsentligt. Dette er måske ikke sandsynligt i de østeuropæiske lande, der grænser op til Østersøen. En øget landbrugsproduktion efter vestlig model i disse lande vil yderligere øge belastningen med næringsalte til havmiljøet.

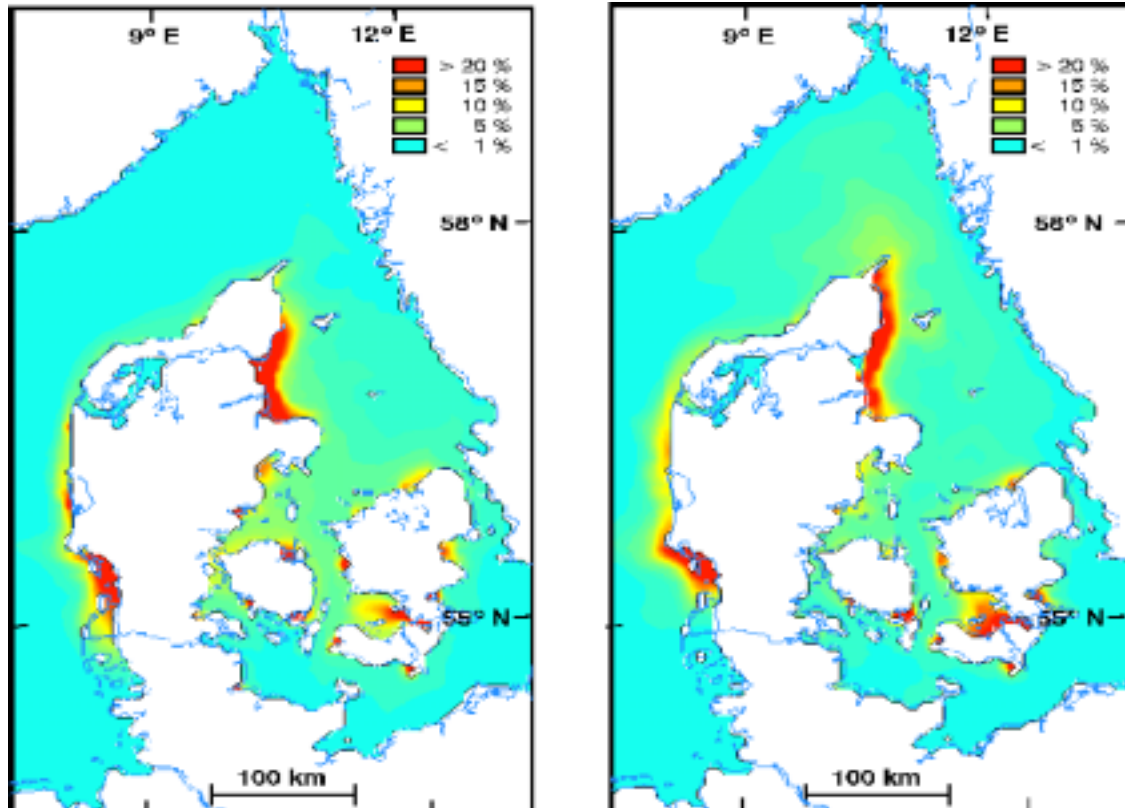
### 3.1 Øget vækst af planktonalger

I nedenstående bidrag ”Øget vækst af planktonalger i havet som en følge af klimaændringer” er der opstillet modeller (Farvandsmodellen og en eutrofieringsmodel), som er anvendt til at estimere effekter af en øget afstrømning samt af en generel temperaturstigning på væksten af planktonalger i danske farvande (Edelvand et al, in press).

Modelberegningerne forudsiger, at den øgede afstrømning af næringsalte til vandmiljøet medfører, at vinterværdierne for uorganisk kvælstof i år 2075 i forhold til i dag vil være 1-5% højere i åbne farvande, mens stigningen i fjorde og kystnære områder kan være op til 20%. Tilsvarende modelberegninger viser, at primærproduktionen øges i samme størrelsesorden som koncentrationen af uorganisk kvælstof, se Figur 3.

Ligeledes viser modelberegninger med Farvandsmodellen, at vandmiljøet bliver væsentligt påvirket af temperaturstigning. I første omgang fordi alle biologiske processer i vandfasen forventes at accelerere, hvilket resulterer i en generel stigning i produktionen af algeplankton i hele modelområdet på op til 10 % i de åbne farvande. Derudover viser beregningerne en væsentlig øget produktion i de mere lavvande områder.

Eutrofieringseffekterne, som blev åbenbare i sidste halvdel af 1900 tallet, forventes således at fortsætte under klimaændringerne. Vi ved fra den nationale overvågning af havmiljøet i danske farvande, at der er en sammenhæng mellem koncentrationer af næringsalte, tilstedeværelsen af planktonklorpfil og lysets nedtrængning i vandsøjlen i kystnære danske farvande (Sand-Jensen et al, 1994). En øget næringsalttilførsel medfører en stor planteplanktonbiomasse, der mindsker mængden af lys for makroalger og ålegræs. Nedtrængningen af lys i vandet vil også blive mindsket af en forventelig øget tilførsel af partikler og humusstoffer fra de nordeuropæiske floder på grund af den øgede nedbør og dermed øgede afstrømning.



Figur 3 Gennemsnitlig procentvis forøgelse i vinter (januar & februar) koncentrationer af uorganisk kvælstof (venstre figur) og gennemsnitlig procentvis forøgelse i daglig produktion af plankton alger (højre figur) gennem vækstperioden (marts til september). De viste ændringer er beregnet ud fra en antagelse om, at øget nedbør vil betyde øget udvaskning af næringssalte til de danske marine områder (Edelvang et al.)

### 3.2 Effekter på makroalger og ålegræs

Bundvegetation i form af makroalger og ålegræs forekommer i danske kystområder ned til maksimalt 30 meters dybde, men som regel findes makroalgerne kun til 10- 20 meters dybde og ålegræs til 5 - 10 meter. De fremtidige klimaændringer kan forventes at have en betydelig effekt på både de artsrige makroalgesamfund og på ålegræsbestandene. Disse effekter er vurderet i nedenstående bidrag "Klimaeffekter på stenrevs vegetation" og "Effekter af klimaændringer på makroalger og ålegræs i danske farvande".

Lavere saltholdighed, større næringsstof koncentrationer og mindre tilgængeligt lys betyder, at der vil blive færre forskellige arter og funktionelle former af makroalger i samfundene (Middelboe et al 1998, Middelboe & Sand-Jensen 2000).

Lav saltholdighed udgør en fysiologisk begrænsning for overlevelse af mange algearter, især blandt rød- og brunalger. Undersøgelser af algefordeling i danske farvande viser, at

saliniteten har stor betydning for artsantallet i havet. Artsantallet falder med faldende salinitet (Nielsen et al. 1995, Middelboe et al. 1997). De gennemførte modelscenarier peger på en fremtidig reduceret salinitet på op til 2,5 promille i de indre danske farvandes overfladevand. En sådan ændring vil i sig selv medføre en tilbagegang for antallet af arter i de forskellige danske farvandsafsnit. Større næringsstofbelastning vil favorisere små, hurtigt-voksende makroalge-arter med en kort levetid på bekostning af de større, langsomtvoksende arter med lange livsforløb. Effekten af øgede næringsstofkoncentrationer vil formentlig være størst i de områder, der i dag kun er lidt eller moderat påvirkede af næringsstoffer. Udover at favorisere særlige funktionelle former af makroalger har næringsstofferne også en indirekte effekt på grund af øget vækst af algeplankton og deraf følgende dårligere lysforhold.

Der eksisterer den økologiske sammenhæng, at jo mindre areal der er til rådighed, desto færre arter findes der på arealet (Rosenzweig 1995). Arealet, der er til rådighed for kolonisering af makrolager, bliver mindre, når lysnedtrængningen i vandsøjlen svækkes på grund af fytoplanktonets skyggevirksomhed.

Empiriske modeller giver signifikante sammenhænge mellem algevegetationens udbredelse på de dybvandede stenrev i det åbne Kattegat og kvælstofbelastningen. Tilsvarende er der vist signifikante ændringer i algevegetationen mellem år med høj og lav kvælstofbelastning (Hansen et al, 2000). Det er også vist, at forskellige algersamfund kan identificeres og adskilles signifikant på samme rev, med blot en enkelt meters forskel i dybden, hvilket i det givne tilfælde svarede til en ændring i lysniveauet på ca. 25 % og en ændring i saliniteten på 0,5 promille (Krause-Jensen et al, 2000).

Den mindskede lysindstråling til bunden vil med meget stor sandsynlighed forstærke tabet af artsdiversitet i de enkelte farvande. Arter, som i dag kan klare sig i det mere salte bundvand p.g.a. tilstrækkeligt lys, vil ikke nødvendigvis være i stand til at kompensere for en reduceret lysindstråling ved at flytte udbredelsesområdet til revområder med lavere vanddybder, medmindre arternes salinitetskrav fortsat kan opretholdes.

Temperaturstigning i havet vil uden tvivl også påvirke makroalgesamfundene i danske farvande. Stigende vandtemperatur kan tænkes at få en positiv effekt på artsrigdommen i makroalgesamfundene, idet antallet af arter i kystvandene generelt er højere i de varmere områder. Den positive effekt vil dog sandsynligvis være lille set i forhold til de ændringer, der mindsker artsrigdommen. Et litteraturstudium er nødvendigt for at give et bud på, hvilke nye arter vi kan forvente, der indvandrer ved en given temperatur.

Ålegræs har stor udbredelse og stor betydning i lavvandede danske kystområder. En forøget afstrømning og deraf følgende øget næringsstofbelastning vil tilsvarende som for makroalgerne føre til en reduktion af planternes dybdeudbredelse p.g.a. af planktonalgenes skyggevirksomhed (Sand-Jensen et al. 1994). Den øgede afstrømning vil også i sig selv kunne reducere ålegræssets udbredelse i visse indre fjorde, hvor vandets saltholdighed kan komme under de 5 – 7 ‰, som planten kræver (Mathiesen & Nielsen 1956). Temperaturstigningen udgør ligeledes et potentielt problem for ålegræsvegetationen. Planten vokser under sydligere og varmere himmelstrøg, men høj vandtemperatur antages at spille en væ-

sentlig rolle i de stokastiske hændelser med massedød af ålegræsbestande, som fra tid til anden observeres i varme, stille sommerperioder (Greve & Borum 2000).

Samlet set vil de skitserede klimaforandringer forventeligt have en negativ effekt på undervandsvegetationen i de danske kystnære farvande. De potentielt positive effekter i form af større artsrigdom og øgede vil langt blive opvejet af de negative effekter som følge af øget afstrømning, næringsbelastning og skygning.

### **3.3 Effekter på fødegrundlaget for fisk**

Mulige effekter af temperaturstigninger på fødegrundlaget for fisk i havet er behandlet i bidraget "Mulige effekter af temperaturstigninger på fødegrundlaget for fisk i havet". Mens produktionen af planteplankton (planktonalger) primært begrænses af lys og næringssalte, så styres nedbrydningen og omsætningen af planteplanktonet især af temperaturen. I havmiljøet omsættes planktonalgerne af ciliater, vandlopper og bakterier i vandet, mens uomsatte planktonalger synker til havbunden og udgør grundlaget for de bundlevende fisk. Vandlopper er den vigtigste fødekilde for fiskelarver og pelagiske fisk og udgør dermed bindeledet mellem produktionen af planktonalger og pelagiske fisk.

I år med lave temperaturer (1 - 2 °C) om foråret omsættes kun en ubetydelig del af planktonalgerne i vandsøjlen, bl.a. fordi vandlopper og andre græssere er temperaturbegrænsede, mens en langt større del af forårsopblomstringen af algeplanktonet omsættes af de pelagiske græssere i år med højere temperatur (Fenchel et al. 1992). En øgning af temperaturen som forudsagt af klimamodellerne vil alt andet lige favorisere de pelagiske fødekæder, fordi: 1) vandloppernes populationsvækst starter tidligere på året, 2) næringsstofferne tilbageholdes i vandet og kommer især det pelagiske system til gode (herunder også pelagiske fisk).

Hvor stor en del af det producerede planteplankton, der går videre via fødekæderne til fisk, afhænger desuden også af, hvor stor en andel der "spises" op af bakterier. Hovedparten af det, bakterierne omsætter, går nemlig tabt som fiskeføde. En vurdering af, hvordan en temperaturstigning vil påvirke omsætningen af planktonalger og grundlaget for føde til pelagiske fisk, er usikker, idet der på nuværende tidspunkt mangler undersøgelser af langtidseffekter af forhøjede temperature i komplekse systemer indeholdende både bakterier, alge- og dyreplankton.

### **3.4 Iltsvind**

Bundvandets iltindhold har stor indflydelse på livsbetingelser for bunddyr og bundlevende fisk. Betydelige dele af vore fjorde og åbne farvande er siden begyndelsen af 1980'erne jævnligt blevet ramt af iltsvind. Klimaændringerne i form af en øget afstrømning af næringssalte til vandmiljøet og en generelt højere temperatur vil alt andet lige være med til at øge sandsynlighed og udbredelsen af iltsvind med de deraf følgende effekter på bunddyr og bundlevende fisk. Emnet er behandlet i bidraget "Øget sandsynlighed for iltsvind i danske farvande – negative effekter på bunddyr og bundlevende fisk".

Iltkoncentrationen ved bunden er resultat af to modsatrettede processer, nemlig iltforbrug forårsaget af nedbrydningen af bl.a. sedimenterede planktonalger og ilttilførelsen, som er lav, når vandsøjlen er lagdelt, men høj når vandsøjlen omrøres af vinden. Med øget ferskvandsafstrømning og temperatur, vil lagdelingen af både fjorde og åbne farvande forstærkes, og med et uændret vindklima vil risikoen for iltsvind øges. Modelberegninger har dog vist, at vindhastigheden øges (Bakun 1990), hvilket måske kan kompensere for den forstærkede lagdeling.

Lave iltkoncentrationer ved bunden fører til en forarmelse af faunaen med tab af store og arter med lang generationstid og favorisering af opportunistiske former. Generelt opfattes forringede iltforhold som den største trussel for biodiversiteten i havbunden (Diaz & Rosenberg, 1995). Bunddyrenes lange generationstid og stationære levevis betyder ofte, at det kan tage flere år, før sammensætningen og mængden af bunddyr er tilbage til niveauet før et iltsvind.

### **3.5 Effekter på fisk**

Hvis de omtalte klimaændringer slår igennem med højere temperaturer og fald i saltholdighed, vil det have stor betydning for de fiskepopulationer som p.t. forekommer i danske farvande. Generelt er de specifikke processer, som er af betydning for fiskeforekomsters afhængighed af klimatiske forhold, ikke velkendte, og der plejer at være mange afvigelser forbundet med forudsigelser af fisks forekomst. I øjeblikket er det derfor kun muligt at lave begrænsede forudsigelser om, hvordan klimaforandringer vil påvirke fiskeartssammensætning og forekomstmønstre i de danske farvande. Nogle generelle fremtidsscenarier kan dog opstilles, baseret på tidligere observationer, men mere nøjagtige prognoser vil kræve en grundigere oversigt over og analyse af det eksisterende fiskeri og miljømæssige informationer, samt yderligere kendskab til de processer, som påvirker fiskeproduktion og overlevelse. Emnet er behandlet i bidrag ” Effekter af klimaændringer på fisk i danske farvande”.

Til trods for den eksisterende begrænsede viden er der tre generelle forandringer som kan forventes:

For det første vil overlevelse, vækst og reproduktion af fiskearter, som i øjeblikket findes i danske farvande, ændres i takt med, at temperaturen stiger, og saliniteten falder. Disse forandringer vil være gavnlige for nogle arter og skadelige for andre arter. Den relative mængdemæssige fordeling af arter, som i øjeblikket lever i danske farvande, vil derfor forandre sig.

For det andet vil fiskepopulationernes artssammensætning forandres, efterhånden som ændringerne i temperatur og salinitet bliver markante. Vi kan forvente at se ”nye” arter komme ind i danske farvande samtidig med, at eksisterende arter vil blive sjældnere eller uddø lokalt. Hvad der i øjeblikket ikke er entydigt klart er, hvilke arter der vil immigrere til eller forsvinde fra området, og hvorvidt fiskepopulationen overordnet set vil undergå markante ændringer med hensyn til diversitet og biomasse. Det er endvidere heller ikke enkelt at

forudsige, hvorledes klimaforandringerne vil påvirke den genetiske mangfoldighed indenfor den enkelte art.

For det tredje er det forventeligt, at andelen af pelagiske og demersale (bundlevende) arter inden for fiskepopulationerne vil forandres. Højere temperaturer og lavere salinitet vil resultere i længere planktonproduktionssæsoner og kan derfor favorisere de arter, som grænser direkte på alge- og dyreplanktonet. Sådanne arter vil være sild, brisling m.fl.

De arter, som højst sandsynligt vil opleve de største forandringer i forekomstmængde, er generelt de arter, som i øjeblikket er tæt ved deres geografiske udbredelsesgrænser, og som derfor allerede nu oplever stress ved variationer i temperatur, salinitet og iltkoncentration. I den forbindelse kan fiskefaunaen i Østersøen være specielt følsom overfor klimaforandringer, fordi Østersøen allerede har en lav fiskemangfoldighed sammenlignet med andre områder (f.eks. Nordsøen). De arter, som i øjeblikket er dominerende i Østersøen (torsk, brisling og sild) er på kanten af deres temperatur og/eller salinitetstolerancegrænser. Øget lagdeling, som et resultat af lavere salinitet og højere temperatur, kan føre til hyppigere tilfælde af iltvind i Nordsøen og Østersøen. Torskereproduktion i Østersøen er specielt følsom overfor salinitet og iltforhold. Varmere, ferskere betingelser og forandringer i den regionale skalacirkulation forårsaget af klimaforandringer kan være skæbnesvangre for torskens reproduktionssucces i dette område.

### 3.6 Effekter på fugle

De lavvandede farvande omkring Danmark har en meget stor betydning som rastepladser for trækkende og overvintrende bestande af vandfugle. Bl.a. EF-fuglbeskyttelsesområderne er udpeget for at beskytte disse bestande.

En *temperaturstigning* kan umiddelbart forventes at have den effekt, at en lang række arters overlevelse i vinterhalvåret forbedres. DMU og andre har igennem de sidste 20 år dokumenteret, at en lang række fuglearter har en betydelig forøget mortalitet i forbindelse med hårde vintre, det gælder f.eks. ansvarsarterne skarv, knopsvane, kortnæbbet gås og lysbuget knortegås. Da langt størstedelen af vandfuglene raster i landet forår/efterår og/eller overvintre, er det især et scenarium, med en stigning på 1 - 2°C i midvinterperioden december-februar, der er interessant.

En forøget overlevelse af flere af bestandene er i princippet positivt, hvis bestandene skal være større end nu. Men for en række arter kan man forestille sig en forøget konflikt, f.eks. mellem fiskeriet/skarverne (skader på fisk + redskaber) og landbruget/kortnæbbet gås & knopsvane (græsningsskader på især vinterafgrøder). Derudover kan en forøget vinteroverlevelse potentielt få negative følger for fuglenes yngleområder.

I et scenarium med *øget nedbør*, er det umiddelbart nok især følgevirkningerne af nedbøren - en forøget eutrofiering, som vil have negative effekter. En lang række fjordområder er i forvejen belastet af eutrofiering, og effekter på bundvegetationen og dermed fødegrundlaget for en række vandfuglearter er kendt. Det er især ansvarsarterne knop-, sang- og pibe-svane, de to bestande af knortegæs samt pibeand og spidsand, som kan tænkes at blive

påvirket. Særligt velkendte er eksemplerne fra Ringkøbing Fjord i slutningen af 1970'erne samt Nisum Fjord i midten af 1980'erne, men også andre områder som det Sydfynske Øhav samt Nibe/Gjøl Bredninger blevet ramt af tilsvarende eutrofieringsbetingede "nultillinger" af fødegrundlaget for planteædende vandfugle i 1990'erne.

I forhold til de forventede effekter viser "Farvandsmodellen" at den forøgede eutrofiering forventeligt vil have en ganske negativ effekt på bundvegetationen i en lang række områder, der er udpeget som Ramsar- og/eller EF-fuglebeskyttelsesområder og jagt og forstyrrelsesfrie kerneområder.

## **4 YDERLIGERE ASPEKTER**

### **4.1 Effekter af en øget atmosfærisk tilførsel af kvælstof er ikke medtaget i notatet**

I denne aktuelle vurdering af de biologiske effekter er ikke medtaget en øget tilførsel af kvælstof (ammoniak) til havområder. En generelt højere temperatur vil øge fordampningen af ammoniak fra land. Dette forhold sammen med en øget nedbør vil alt andet lige øge tilførslen af kvælstof til havmiljøet via luften. Tørdeposition vil forventeligt øges i samme størrelsesorden som fordampningen, mens våddeposition p.g.a. den øgede nedbør vil stige forholdsvis mere. Den atmosfæriske tilførsel af kvælstof er betragtelig i åbne farvande, f.eks. udgør den i dag omkring 30 % af den totale tilførsel.

### **4.2 Øget vækst som følge af øget CO<sub>2</sub> koncentrationer**

Der er stor i dag stor usikkerhed om den rolle, som havet spiller for det fremtidige kulstofregnskab. Fysiske, kemiske og biologiske forhold har betydning for, om havet netto optager eller frigiver CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Problemstillingen er meget kompleks, og der forskes meget i området. Øgede CO<sub>2</sub> koncentration, der er klimaforandringerne egentlige årsag, vil kunne stimulere planternes vækst og dybdeudbredelse. Som oprindelig terrestrisk plante er ålegræssets udnyttelse af CO<sub>2</sub> i vand ikke så effektiv som makroalgernes, og planten er derfor ofte begrænset af tilgængeligheden af uorganisk kulstof (Beer & Koch 1996).

.



## 5        **REFERENCER**

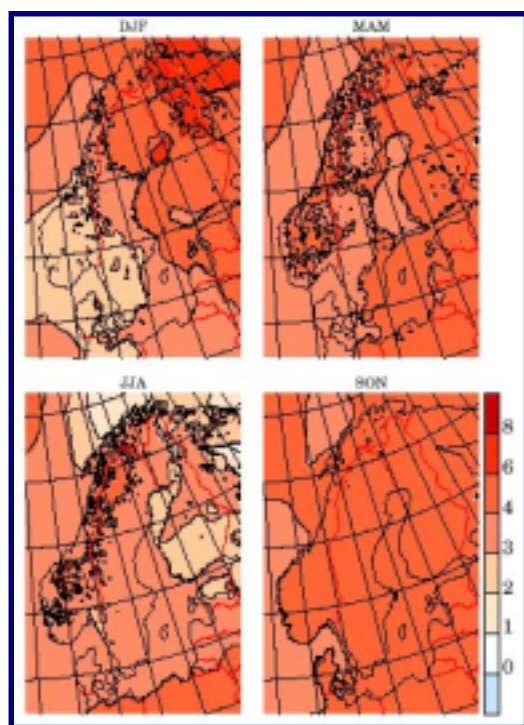
- Andersson A., Haecky P., Hagström Å (1994): Marine Biology 120:511-520
- Beer, S. & Koch, E. (1996) Photosynthesis of marine macroalgae and seagrasses in globally changing CO<sub>2</sub> environments. Mar. Ecol. Prog. Ser. 141: 199-204.
- Diaz, R., J. & Rosenberg, R. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 33: 245-303.
- Duun-Christensen, J.T., 1992. Vandstands-ændringer i Danmark. Trykt i "Drivhuseffekt og klimaændringer – hvad kan det betyde for Danmark", Miljøministeriet.
- Edelvang K, Erichsen A, Gustavson K, Bundgaard K og Dahl-Madsen K-I. DHI-Institute for water and Environment. In: Impact of Climate Changes. Dansk klimacenter (in press).
- Fenchel T et al. 1992. Planktonodynamik og stofomsætning i Kattegat – Planktons udbredelse i tid og rum, omsætning og kobling med havbunden. Havforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 10
- Greve, T.M. & Borum, J. (2000). Årsager til massedød i ålegræsbestande. Vand & Jord 7(1): 36-39.
- Hansen, J., Pedersen, B., Carstensen, J., Conley, D., Christensen, T., Dahl, K., Henriksen, P., Josefson, A., Larsen, M. M., Lisberg, D, Lundsgaard, C., Markager, S., Rasmussen, B., Strand, J., Ærtebjerg, G., Krause-Jensen, D., Lauersen, J. S., Ellermann, T., Hertel, O., Skjøth, C. A., Ovesen, N. B., Svendsen, L. M., and Pritzl, G. 2000 Marine Områder - Status over miljøtilstanden i 1999. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 333.
- Krause-Jensen, D., Lauersen, J. S., Dahl, K., Hansen, J., and Larsen, S. E. 2000. Test af metoder til marine vegetationsundersøgelser. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 323..
- Mathiesen, H. & Nielsen, J. (1956). Botaniske undersøgelser i Randers Fjord og Grund Fjord. Bot. Tidsskr. 53: 1-34.
- Middelboe AL, Sand-Jensen K, Brodersen KP. 1997. Patterns of macroalgal distributions in the Kattegat-Baltic region. Phycologia; 36 (3): 208-219.
- Nielsen R, Kristiansen AA, Mathiesen L, Mathiesen H. 1995. Distributional index of the benthic macroalgae of the Baltic Sea area. Acta botanica fennica, The Baltic Marine Biologists Publication No.18; vol. 155: 1-51.
- Pedersen, F.B & Møller, J.S. (1981): Diversion of the River Neva. How will it Influence the Baltic Sea, the Belts and Kattegat. Nordic Hydrology, 12, pp. 1-20.
- Pomeroy L.R., Wiebe W.J. (1993) Marine Microbial Food Webs 7:101-118
- Rosenzweig, M.L. (1995). Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sand-Jensen, K., Nielsen, S. L., Borum, J., and Geertz-Hansen, S. 1994. Fytoplankton- og makrofytudvikling i danske kystområder. nr. 30, 1-43.. Havforskning fra Miljøstyrelsen
- Sand-Jensen, K., Nielsen, S.L., Borum, J. & Geertz-Hansen, O. (1994). Fytoplankton- og makrofytudvikling i danske kystområder. Havforskning fra Miljøstyrelsen 30.



# Effekter af klimaforandringer på de danske farvandes oceanografi

Sektions chef Lic.Scient. Erik Buch  
Danmarks Meteorologiske Institut

De indre danske farvande udgør et overgangsområde mellem Østersøen, der er under stor påvirkning af ferskvandstilstrømning fra land, og Nordsøen, der er under direkte påvirkning af den storskalaede cirkulation i Atlanterhavet. I en konsekvensanalyse af effekten af mulige klimaforandringer i de danske farvande er man derfor nødsaget til at validere klimaforandringernes effekt på de omgivne landmasser såvel som på den oceane cirkulation specielt i Nordatlanten.



Figur 1. Forskel i simuleret lufttemperatur ved jordoverfladen (grader Celsius) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår. Figuren er baseret på 10 års tidsudsnitsberegninger udført ved Danmarks Klimacenter med modellen HIRHAM4 (Christensen, 2000).

Til trods for en del spredning i resultaterne forudsiger de fleste globale og regionale klimamodeller en stigende temperatur, øget nedbør og stigende vandstand for det Nordeuropæiske/Skandinaviske område. Danmarks Klimacenter/Danmarks Meteorologiske Institut har de seneste år gennemført en række

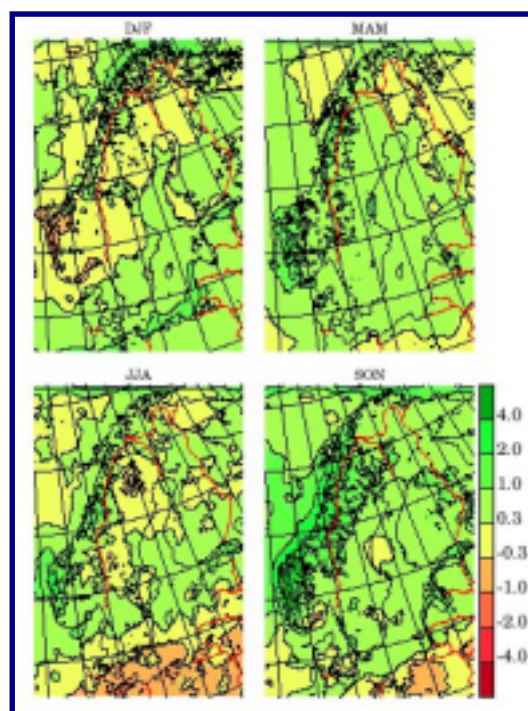
klimasimuleringer med såvel globale som regionale modeller for udviklingen de kommende 50 –100 år (Christensen, 2000), og i det følgende gennemgås de vigtigste resultater af betydning for det marine miljø i de danske farvande.

## 1.1 Temperatur

Lufttemperaturen er beregnet til at stige ca. 4°C i perioden frem til år 2075, med en ret jævn fordeling over området og hen over året, Fig.1. En undtagelse ses for vinterforholdene over Sydsandinavien og Danmark, hvor opvarmningen kun er forudsagt til 1-2°C. Dette vil medføre en generel opvarmning af havområdernes overfladelag (10-20 m) med tilsvarende værdier.

## 1.2 Nedbør

Nedbøren forventes generelt at øges for alle fire årstider, med en lille tendens til noget tørrere somre i den sydøstlige del af regionen, Fig.2.



Figur 2. Forskel i simuleret nedbør (mm/dag) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår. Figuren er baseret på 10 års tidsudsnitsberegninger udført ved Danmarks Klimacenter med modellen HIRHAM4 (Christensen, 2000)

Den øgede nedbørsmængde over land vil primært føres via floder ud til de åbne havområder. Da Østersøen har et stort afvandingsområde (Fig.3) vil Østersøen modtage 30-50% mere ferskvand end i dag. Dette vil betyde en reduktion i overfladesaliniteten og samtidig en væsentligt kraftigere vandtransport ud igennem de indre danske farvande.

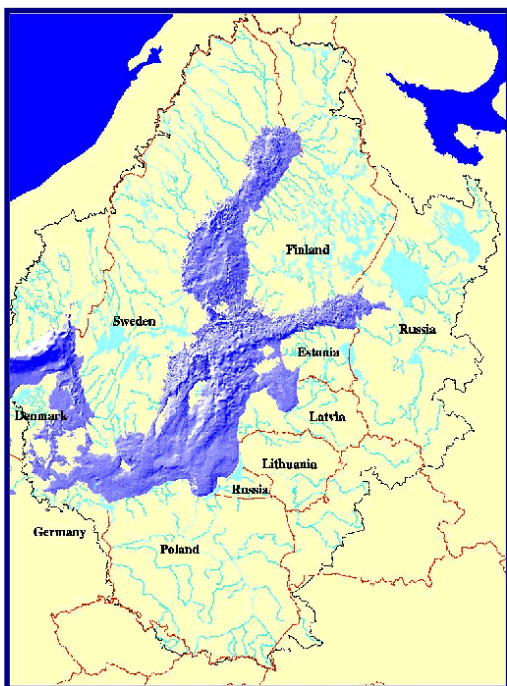
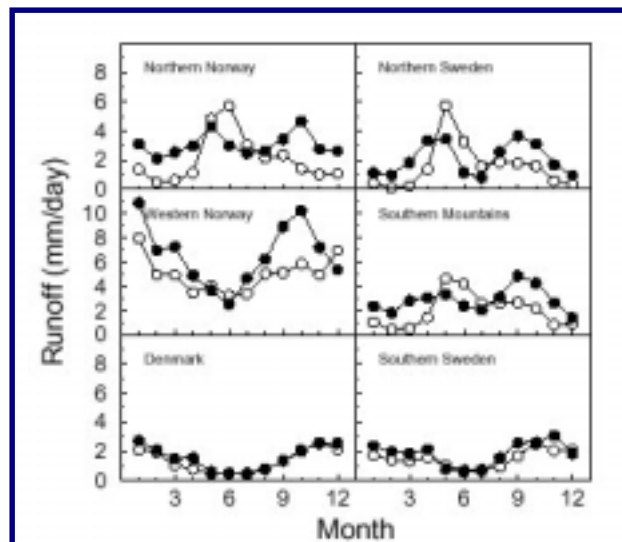


Fig.3. Østersøens afvandingsområde

Der er en kraftig samlet effekt af opvarmningen og den forøgede nedbør på afstrømningen, dvs. den mængde vand, der løber i floder og elve. I Fig. 4 ses den årlige udvikling af denne størrelse fordelt over seks delområder i Skandinavien. Især i det nordlige Skandinavien ændrer den årlige gang sig. I dag er der ét maksimum om foråret, når sneen i bjergene smelter. I 2075 er dette maksimum svækket pga. mindre sne i bjergene, og maximum optræder tidligere. Samtidig er der kommet et nyt maksimum, der skyldes forøget nedbør om efteråret og en senere frost. Simuleringen viser, at der bliver væsentligt mindre sne om vinteren over hele Skandinavien, især i de norske og svenske fjelde. Dette giver en ændring af hele det årlige mønster for vandets kredsløb over den Skandinaviske Halvø, idet tøbruddet om foråret helt ændrer karakter.

Som en følge af den mindre mængde af oplagret sne om vinteren og den generelle opvarmning,

foregår forårstøbrudet tidligere. Vandmængden, der frigives, er væsentligt mindre. Til gengæld medfører den øgede nedbør om efteråret, at vandmængden i floder og elve øges på den årstid.



Figur 4. Afstrømning i mm/dag fordelt på delområder af Danmark-Sverige-Norge. Hvide cirkler er det nuværende klima, sorte cirkler er for år 2075 (Christensen, 2000).

### 1.3 Vandstand

Prognoser for vandstandsændringen de kommende 100 år varierer meget afhængigt af hvilken model der anvendes, hvilket er en naturlig konsekvens af at vort grundlæggende kendskab til mange af de fysiske processer i havet endnu er ufuldstændige. I Fig. 5 er vist resultaterne fra 8 globale modelkørsler som forudsiger en global middel vandstandsstigning i intervallet 0.14 – 0.70 m frem til år 2100. Vandstandsstigningen er ikke jævnt fordelt i verdenshavet, idet regional variabilitet vil være afhængig af ændringer i cirkulationen i såvel atmosfæren som oceanet.

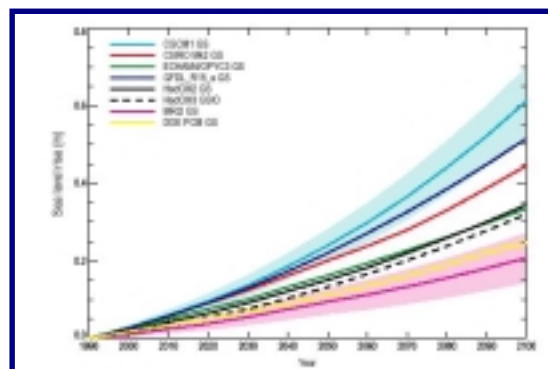
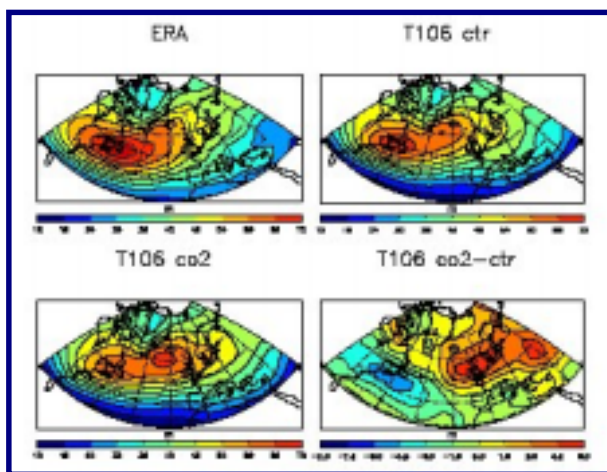


Fig. 5. Prognoser for den globale middel vandstandsstigning frem til år 2100 beregnet ved brug af 8 forskellige modeller (IPCC, 2001).

Duun-Christensen (1992) har beregnet, at en global middelvandstandsstigning på 0.50 m vil medføre en vandstandsstigning på 0.33 – 0.46 m i de danske farvande under forudsætning af, at de nuværende vertikale landbevægelser fortsætter med samme rate som gennem de seneste 100 år.

### Stormaktivitet

Simuleringer af stormaktiviteten i Nordatlanten indikerer, at områderne med kraftig stormaktivitet rykker lidt mod øst i forbindelse med en forøget drivhuseffekt, Fig. 6.



Figur 6. Fordelingen af stormaktivitet om vinteren, målt som båndpasfilteret standardafvigelse af 500 hPa fladens højde i meter. Værdien er høj, hvis der på en tidsskala af nogle dage har været en stærk variation af denne højde svarende til passager af kraftige lavtryk. Blå farver indikerer relativt svag stormaktivitet og orange stærk aktivitet. Øverst til venstre ses den observerede stormaktivitet; øverst til højre resultatet af kontrolløbsen med ECHAM(T106); nederst til venstre resultatet af scenariet svarende til år 2075; nederst til højre ses forskellen mellem 2075 og kontrol. Bemærk, at den sidste del-figur benytter en anden farveskala (Christensen, 2000)

Det betyder at hyppigheden og styrken af storme i løbet af de kommende 75 år forventes at stige i Danmark og nordøst herfor.

### Konsekvenser

Forskning i konsekvenserne af mulige klimaforandringer forårsaget af en øget drivhuseffekt på det marine miljø i de danske farvande har indtil nu været yderst beskeden, men baseret på ovennævnte beskrivelse skal der i det følgende kort redegøres for nogle de mest

sandsynlige og mest markante konsekvens scenarier.

Opvarmning kombineret med øget nedbør, herunder specielt øget ferskvandsafløb fra land til Østersøen, vil bevirke at overfladelaget i Østersøen og de indre danske farvande bliver varmere og mindre saltholdigt. Dette betyder at massefylden falder. Herved bliver lagdelingen i de danske farvande kraftigere end den er i dag, og den vertikale omblending reduceres. Dette kan bl.a. medføre en øget frekvens af iltsvind i de indre danske farvande, hvilket kan yderligere forstærkes ved at den øgede landafstrømning tilfører yderligere mængder næringssalte til overfladevandet.

Den øgede tilførsel af ferskvand til Østersøen vil betyde en øget udstrømning gennem Bælthavet, hvorved fronterne mellem det ferske Østersøvand og det salte Nordsøvand rykkes nordover mod Skagerrak. Dette vil muligvis delvis modvirkes af den øgede frekvens af kraftige storme fra vest. En forøget stormfrekvens vil ligeledes kunne medvirke til at kompensere for en kraftigere lagdeling.

En vandstandsstigning på ca. 0.5 m i de danske farvande vil medføre, at lavliggende områder vil blive oversvømmet, hvis der ikke udføres beskyttelsesarbejder i form af dige-bygning. Endvidere forventes øget kyst erosion, ændrede cirkulationsforhold, ændrede bølgeforhold og endelig vil frekvensen af ekstreme vandstande i forbindelse med stormflod øges. Sidstnævnte effekt vil især blive markant ved en forøget stormaktivitet.

### Alternativ klimaudvikling

Det relativt milde klima der findes i Nordeuropa og Skandinavien skyldes at Den Nordatlantiske Strøm (Golfstrømmen) transporterer store mængder varme, som afgives til atmosfæren i forbindelse med afkøling på høje breddegrader. Denne varme føres ind over Nordeuropa med vestenvinden, Fig 7.

Denne nordgående transport i Nordatlanten udgør en del af den globale thermohaline cirkulation, som drives ved at det varme, salte vand i Nordatlanten afkøles, og derved det bliver så tungt at det synker ned til stor dybde. Det



nedsunkne vand strømmer herefter sydover og videre til de øvrige dele af verdenshavet, Fig.8.



Fig.7. Vigtigste havstrømme i Nordatlanten.

I forbindelse med en global opvarmning kan afsmeltning af is i Det Arktiske Ocean og på Grønland eventuelt kombineret med forøget nedbør i det nordatlantiske område bevirke at overfladesaltholdigheden i de potentielle nedsynkningsområder – Grønlandshavet, Det Arktiske Ocean, Labradorhavet – bliver så lav at nedsynkningsprocessen stopper. Dette vil bevirke at den globale thermohaline cirkulation stopper, hvorved Den Nordatlantiske Strøm (Golfstrømmen) ikke længere vil transportere varmt vand mod Nordeuropa og Skandinavien.

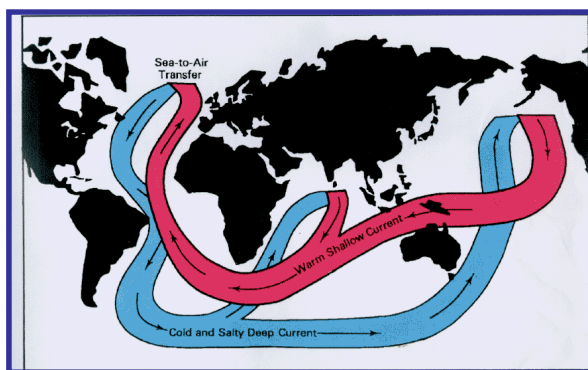


Fig.8. Skematisk illustration af den globale thermohaline cirkulation. Rød indikerer varm overfladestrøm, blå kold dybhavsstrøm.

Konsekvenser heraf vil blive et markant fald i havtemperaturerne i Nordatlanten og dermed også i atmosfæretemperaturerne i Nordeuropa og Skandinavien.

Effekten på havområderne omkring Danmark, såfremt den globale thermohaline cirkulation bryder sammen, er ikke undersøgt; men en sandsynlig udvikling vil være afkøling og sandsynligvis øget saltholdighed, idet store mængder nedbør vil oplagres på land i Østersøens afvandingsområde i form af sne og is.

Kendskabet til detaljerne i den globale thermohaline cirkulation er endnu yderst sparsomme. Det er derfor endnu ikke muligt at vurdere sandsynligheden for et nedbrud af denne og dermed vurdere sandsynligheden for at denne klimaudvikling vil i forhold til den generelle opvarmning.

#### Referencer

Christensen, O.B., 2000. Drivhuseffekten og regionale klimaændringer. Rapport 00-2, Danmarks Klimacenter.

Duun-Christensen, J.T., 1992. Vandstandsændringer i Danmark. Trykt i "Drivhuseffekt og klimaændringer – hvad kan det betyde for Danmark", Miljøministeriet.

IPCC, 2001. Third assesment Report. In prep.

## **Øget vækst af planktonalger i havet som en følge af klimaændringer**

**Anders Eriksen, Kim Gustavson, Karen Edelvang, Klavs Bundgaard og Kristine Garde, DHI-Institut for Vand og Miljø.**

Der er i dag generel enighed om at den menneske skabte udledning af CO<sub>2</sub> i fremtiden vil påvirke jordens klima. Forskellige klimamodeller forudsiger bl.a. at temperaturen i fremtiden generelt vil blive højere og nedbøren vil øges. Modellerne fremskiver at temperaturen i danske havområder vil stige. Modelberegninger indikerer temperatur stigninger op til 4 °C som dog vil være mindst i vintermånederne, hvor en stigning på 1-2 °C forudsiges. De samme modeller forudsiger også, at nedbøren i fremtiden vil blive større. Den regionale model forudsiger at nedbøren i 2075 vil blive 30% større end i dag, dvs. ca. 200 mm mere nedbør på årsbasis. Den større nedbør vil øge afstrømningen fra land til vandmiljøet. I det givne eksempel bliver afstrømningen via danske åre øget med omkring 50%. Når afstrømningen øges relativt mere i forhold til nedbøren skyldes det at grundvandsmagasiner generelt vil blive mere fyldte. Herefter vil en større og større mængde af nedbøren resultere i ren afstrømning.

En stigning i temperaturen vil generelt øge proces hastighederne i havet herunder tilvækst, omsætning og nedbrydning. En større mængde nedbør vil alt andet lige medføre en øget afstrømning af næringssalte fra land til vandmiljø. Begge forhold vil bevirke at produktionen af plankton alger i havet vil blive større.

I forbindelse med NOVA 2003 har DHI opstillet og operationaliseret en 3-dimensionel hydraulisk model, Farvandsmodellen, for

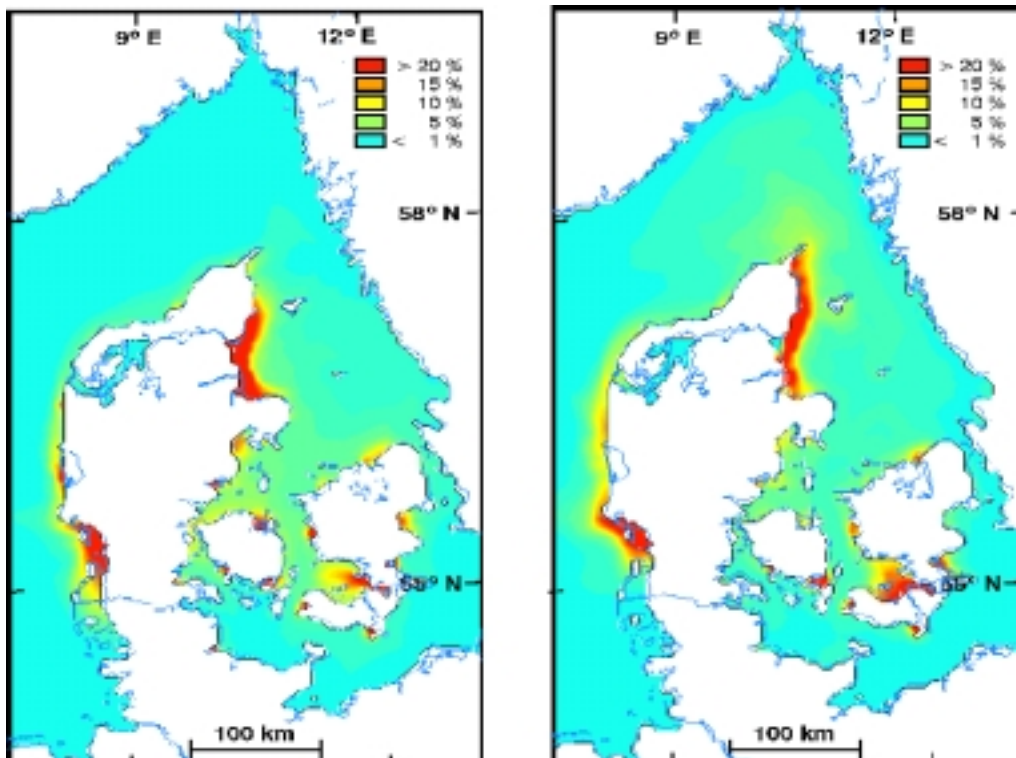
Miljø & Energi Ministeriet. Modellen dækker Østersøen, de indre danske farvande samt en stor del af Nordsøen. På nuværende tidspunkt omfatter Farvandsmodellen ikke biologiske processer som eksempelvis algevækst, hvilket DHI derfor sideløbende har arbejdet på at inkludere.

### **Farvandsmodellen**

(<http://farvandsmodel.dhi.dk>) koblet med eutrofieringsmodellen (en af DHI's biologiske modeller) har herefter været benyttet til at vurdere effekter af en øget afstrømning samt af en generel temperaturstigning på væksten af planktonalger i danske farvande (Edelvang et al in press).

I modelberegningerne er det antaget, at en øget afstrømning vil medføre en øget tilførsel af næringssalte til vandmiljøet. Dette forhold er overbevisende demonstreret under det nationale Overvågningsprogram. Det betyder, at selv hvis Vandmiljøplan II slår fuldt igennem vil en øget afstrømning alt andet lige medføre en øget udvaskning af næringssalte til havet. En vigtig forudsætning er dog at landbrugspraksis og landbrugsareal ikke ændres væsentligt. Dette er måske ikke sandsynligt. Derudover vil landbrugsproduktion efter vestlig model i de gamle Østeuropæiske lande, der grænser op til Østersøen, øge belastningen af Østersøen.

Modelberegningerne forudsiger, at den øgede afstrømning af næringssalte til vandmiljøet medfører at vinterværdierne for uorganisk kvælstof i 2075 i forhold til i dag vil være 1-5% højere i åbne farvande, mens stigningen i fjorde og kystnære områder kan være op til 20%. Tilsvarende modelberegninger viser at primærproduktionen øges i samme størrelsesorden som koncentrationen af uorganisk kvælstof, se figur.



Figur: Gennemsnitlig procentvis forøgelse i vinter (januar & februar) koncentrationer af uorganisk kvælstof (venstre figur) og gennemsnitlig procentvis forøgelse i daglig produktion af plankton alger (højre figur) gennem vækstperioden (marts til september). De viste ændringer er beregnet ud fra en antagelse om at øget nedbør vil betyde øget udvaskning af næringssalte til de danske marine områder (Edelvang et al.)

Ligeledes viser modelberegninger med Farvandsmodellen, at vandmiljøet bliver væsentligt påvirket af temperaturstigning. I første omgang fordi alle biologiske processer i vandfasen forventes at accelerere, hvilket resultere i en generel stigning i produktion af algeplankton på op til 10 % i de åbne farvande. Derudover viser beregningerne en væsentlig øget produktion i de mere lavvande områder. Dette skyldes især en øget biologisk aktivitet i sedimentet og dermed en øget frigivelse af næringssalte herfra. Modelresultaterne er måske overestimeret på grund af manglende ligevægt i sedimentet.

Den højere produktion af planktonalger kan have en lang række direkte og indirekte effekter i havet. Større biomasser af plankton alger nedsætter vandets gennemsigtighed og reducerer dermed den mængde lys, der når

ned til bundlevende planter så som ålegræs og makroalger. Ydermere kan forekomsten af giftige alger øges og omfanget af iltsvind vil med rimelig sikkerhed øges i lavvandede områder. Eutrofieringseffekterne, som blev åbenbare i sidste halvdel af 1900 tallet forventes således at fortsætte under klimaændringerne. Nedtrængningen af lys i vandet vil også blive mindsket af en forventelig øget tilførsel af partikler og humusstoffer fra de Nordeuropæiske floder på grund af den øgede nedbør og dermed øgede afstrømning.

Karen Edelvang, Anders Erichsen, Kim Gustavson, Klavs Bundgaard og Karl Iver Dahl-Madsen. DHI-Institute Water and Environment. In: Impact of Climate Changes. Dansk klimacenter (in press).



# Klimaeffekter på stenrevs vegetation

af Karsten Dahl, DMU

## Indledning

Scenarier fra klimamodeller forudser en række ændringer på faktorer som temperatur, salinitet, indstråling samt nedbør. Øget nedbør vil medføre en større udvaskning af næringssalte, hvilket igen vil medføre en stigning i eutrofieringen af vores havområder. Alle disse faktorer har en afgørende direkte eller indirekte strukturerende rolle, for den bentiske makroalgevegetation, vi finder på stenrev i åbne farvande og på stenede områder i kystzonen.

## Algearternes biogeografiske fordelinger

Vi ved fra flere omfattende undersøgelser af algef fordelinger i danske farvande at artsantallet er højt i Skagerrak og Kattegat og herefter falder jævnt ind igennem indre farvande til Østersøen. Faldet er nøje koblet med faldet i saliniteten (Nielsen et al. 1995, Middelboe et al, 1997). Nyere studier af algesamfund på de danske stenrev i åbne farvande viser også, at det ikke kun er artsantallet men også arternes indbyrdes dominansforhold, der markant påvirkes af saliniteten. Afstanden mellem to lokaliteter skal således ikke være stor før at algesamfundene på en given dybde er signifikant forskellige. (Dahl et al, in prep. /press/2000 eller 2001.)

## Strukturerende faktorer

Algevegetationens samlede dybdeudbredelse på stenrev i de åbne farvande er bestemt af en balance mellem tilvæksten ved fotosyntesen og tabsprocesser. Tabsprocesserne kan bestå af interne tab (respiration) og mekaniske tab som følge af fysisk stress og græsning. Vi ved, fra den nationale overvågning af havmiljøet, at der er en sammenhæng mellem koncentrationer af næringssalte, tilstedeværelsen af planktonklorpyl og lysets nedtrængning i vandsøjlen i kystnære danske

farvande (Sand-Jensen et al, 1994). En øget næringssalttilledning medfører en stor panteplankton biomasse, der bruger en større fraktion af det tilgængelige lys oppe i vandsøjlen. Den del af lyser der når bunden og som danner grundlag for de bentiske makroalgers vækst bliver tilsvarende mindre.

Empiriske modeller giver signifikante sammenhænge mellem algevegetationens udbredelse på de dybvandet stenrev i det åbne Kattegat og kvælstofbelastningen.

Tilsvarende er der vist signifikante ændringer i algevegetationen mellem år med høj og lav kvælstofbelastning (Hansen et al, 2000). Det er også vist at forskellige algersamfund kan identificeres og adskilles signifikant på samme rev, med blot en enkelt meters forskel i dybden, hvilket i det givne tilfælde svarede til en ændring i lysniveauet på ca. 25 % og en ændring i saliniteten på 0,5 promille. (Krause-Jensen et al, 2000).

## Forventede Effekter

De gennemførte model scenarier peger på en fremtidig reduceret salinitet på 2-4 promille ? i de indre danske farvandes overfladevand. En sådan ændring vil i sig selv medføre en tilbagegang for antallet af arter i de forskellige danske farvandsafsnit. Den mindskede lysindstråling til bunden vil med meget stor sandsynlighed forstærke tabet af artsdiversitet i de enkelte farvande. Arter som i dag kan klare sig i det mere salte bundvand pga. tilstrækkeligt lys, vil ikke nødvendigvis være i stand til at kompensere for en reduceret lysindstråling ved at flytte udbredelsesområdet til områder med lavere vanddybder, medmindre arternes salinitetskrav fortsat kan opretholdes.

I disse betragtninger er der lagt vægt på effekterne af reduceret lys og salinitet på makroalgesamfundene, men scenariets forudsigelser af temperaturstigning i havet vil uden tvivl også påvirke de bentiske alger i danske farvande. Et litteraturstudium er nødvendigt, for at give et bud på hvilke nye

arter vi kan forvente der indvandre ved en given temperatur. En anden faktor vi ved meget lidt om, er den bentiske fauna knyttet til det hårde substrat og deres biogeografiske fordeling i de danske farvande. Vi er derfor ikke i stand til at udtale os om klimaændringernes konkrete effekter over for denne fauna gruppe.

### **Habitateffekter:**

Ud over et forventet tab af algearter i de enkelte farvandsområder vil en reduktion i den fotiske zone på revene medføre reduktion i udbredelsen af de habitater som tangskovene udgør. Herved vil en lang række dyr og fisk miste fødegrundlag og levested, hvilket alt i alt må siges at medføre en forringet biodiversitet. Desværre indgår biomasse og produktions bestemmelser af den bentiske vegetation ikke i overvågningsprogrammet. Det vil imidlertid være muligt ud fra de empiriske modeller at give et bud på hvad en øget belastning på 20% vil betyde for algedækningen på de dybe stationer for en række rev i det centrale og nordlige Kattegat. Det vil med andre ord være muligt at opstille forskellige scenarier for reduktionen af vegetationsdækket på hårbundshabitater som følge af nogle af de berørte klimaeffekter.

Dahl, K., Hansen, J., Helmig, S., Nielsen, R., and Larsen, H. S. 2001 Naturkvalitet på stenrev, hvilke indikatorer kan vi bruge. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU (in press).

Hansen, J., Pedersen, B., Carstensen, J., Conley, D., Christensen, T., Dahl, K., Henriksen, P., Josefson, A., Larsen, M. M., Lisberg, D., Lundsgaard, C., Markager, S., Rasmussen, B., Strand, J., Ærtebjerg, G., Krause-Jensen, D., Lauersen, J. S., Ellermann, T., Hertel, O., Skjøth, C. A., Ovesen, N. B., Svendsen, L. M., and Pritzl, G. 2000 Marine Områder - Status over miljøtilstanden i 1999. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 333.

Krause-Jensen, D., Lauersen, J. S., Dahl, K., Hansen, J., and Larsen, S. E. 2000. Test af metoder til marine vegetationsundersøgelser. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 323..

Middelboe AL, Sand-Jensen K, Brodersen KP. 1997. Patterns of macroalgal distributions in the Kattegat-Baltic region. *Phycologia*; 36 (3): 208-219.

Nielsen R, Kristiansen AA, Mathiesen L, Mathiesen H. 1995. Distributional index of the benthic macroalgae of the Baltic Sea area. *Acta botanica fennica, The Baltic Marine Biologists Publication No.18*; vol. 155: 1-51.

Sand-Jensen, K., Nielsen, S. L., Borum, J., and Geertz-Hansen, S. 1994. Fytoplankton- og makrofytudvikling i danske kystområder. nr. 30, 1-43.. Havforskning fra Miljøstyrelsen.

## Effekter af klimaændringer på makroalger og ålegræs i danske farvande

Anne Lise Middelboe og Jens Borum,  
Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns  
Universitet.

Bundvegetation i form af makroalger og ålegræs forekommer i danske kystområder ned til maksimalt 30 meters dybde, men som regel findes makroalgerne kun til 10-20 meters dybde og ålegræs til 5-10 meter. De fremtidige klimaændringer kan forventes at have en betydelig effekt på både de artsrige makroalgesamfund og på ålegræsbestandene. Lavere saltholdighed, større næringsstof koncentrationer og mindre tilgængeligt lys betyder, at der vil blive færre forskellige arter og funktionelle former af makroalger i samfundene (Middelboe et al 1998, Middelboe & Sand-Jensen 2000). Lav saltholdighed udgør en fysiologisk begrænsning for overlevelse af mange algearter, især blandt rød- og brunalger. Større næringsstof belastning vil favorisere små, hurtigt voksende makroalge-arter med en kort levetid på bekostning af de større, langsomt voksende arter med lange livsforløb. Effekten af øgede næringsstof koncentrationer vil formentlig være størst i de områder, der i dag kun er lidt eller moderat påvirket af næringsstoffer. Udover at favorisere særlige funktionelle former af makroalger har næringsstofferne også en indirekte effekt på grund af øget fytoplankton vækst og deraf følgende dårligere lysforhold. Der eksisterer den økologiske sammenhæng, at jo mindre areal, der er til rådighed, desto færre arter findes der på arealet (Rosenzweig 1995). Arealet der er til rådighed for kolonisering af makroalger bliver mindre, når lysnædtrængningen i vandsøjlen svækkes på grund af fytoplanktonets skyggeeffekt.

Stigende vandtemperatur kan tænkes at få en positiv effekt på artsrigdommen i makroalgesamfundene, idet antallet af arter i kystvandene generelt er højere i varmere områder. Den positive effekt vil dog sandsynligvis være lille, set i forhold til de ændringer der mindsker artsrigdommen. Samlet set vil de forventede klimaændringer derfor betyde mindre artsrige makroalgesamfund og en indskrænkning af det vegetationsdækkede areal i de kystnære områder. Da artsrigdom har en stabiliserende effekt på økosystemerne vil tab af arter i makroalgesamfundene resultere i mere ustabile økosystemer (McCann 2000).

Ålegræs, som er vores mest udbredte blomsterplante i de lavvandede kystområder, vil ligesom makroalgerne blive markant påvirket af de forudsagte klimaændringer. Den forøgede afstrømning og deraf følgende øgede næringsbelastning vil tilsvarende føre til en reduktion af planternes dybdeudbredelse pga. af planktonalgernes skyggeeffekt (Sand-Jensen et al. 1994). Den øgede afstrømning vil også i sig selv kunne reducere ålegræssets udbredelse i visse indre fjorde, hvor vandets saltholdighed kan komme under de 5-7‰, som planten kræver (Mathiesen & Nielsen 1956).

Temperaturstigningen udgør ligeledes et potentielt problem for ålegræsvegetationen. Planten vokser under sydligere og varmere himmelstrøg, men høj vandtemperatur antages at spille en væsentlig rolle i de stokastiske hændelser med massedød af ålegræsbestande, som fra tid til anden observeres i varme, stille sommerperioder (Greve & Borum 2000). Temperaturen kan enten have en direkte, negativ effekt på planternes metabolisme eller medvirke til mere udbredt iltsvind i de lavvandede kystområder. Endeligt kan ålegræsset også have fordele af klimaforandringerne, idet den øgede CO<sub>2</sub> koncentration, der er klimaforandringernes egentlige årsag, vil kunne stimulere planternes

vækst og dybdeudbredelse. Som oprindeligt terrestrisk plante er Ålegræssets udnyttelse af CO<sub>2</sub> i vand ikke så effektiv som makroalgerne, og planten er derfor ofte begrænset af tilgængeligheden af uorganisk kulstof (Beer & Koch 1996). Selv en fordobling af luftens CO<sub>2</sub> indhold vil imidlertid ikke tilnærmelsesvist kunne kompensere for klimaforandringernes negative konsekvenser.

Samlet set vil de skitserede klimaforandringer forventeligt have en negativ effekt på undervandsvegetationen i de danske kystnære farvande. De potentielt positive effekter i form af større artsrigdom og øgede væksthastigheder som følge af højere temperatur og øget CO<sub>2</sub> tilgængelighed, vil langt blive opvejet af de negative effekter som følge af øget afstrømning, næringsbelastning og skygning.

Beer, S. & Koch, E. (1996) Photosynthesis of marine macroalgae and seagrasses in globally changing CO<sub>2</sub> environments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141: 199-204.

Greve, T.M. & Borum, J. (2000). Årsager til massedød i ålegræsbestande. *Vand & Jord* 7(1): 36-39.

Mathiesen, H. & Nielsen, J. (1956). Botaniske undersøgelser i Randers Fjord og Grund Fjord. *Bot. Tidsskr.* 53: 1-34.

McCann, K.S. (2000). The diversity-stability debate. *Nature* 405: 228-233.

Middelboe, A.L., Krause-Jensen, D. & Sand-Jensen, K. (1998). Patterns of macroalgal species diversity in Danish estuaries. *J. of Phycol.* 43: 457-466.

Middelboe, A.L. & Sand-Jensen, K. (2000). Long-term changes in macroalgal communities in a Danish estuary. *Phycologia* 39: 245-257.

Rosenzweig, M.L. (1995). *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press, Cambridge.

Sand-Jensen, K., Nielsen, S.L., Borum, J. & Geertz-Hansen, O. (1994). Fytoplankton- og makrofyt udvikling i danske kystområder. *Havforskning fra Miljøstyrelsen* 30.

## **Mulige effekter af temperatur stigninger på fødegrundlaget for fisk i havet.**

**Fleming Møhlenberg og Kim Gustavson,  
DHI-Institut for Vand og Miljø, Sten-Åke  
Wängberg Göteborg Universitet.**

Klimamodeller forudsiger markant højere temperaturer i fremtiden. En regional klimamodel forudsiger at temperaturen stiger ca. 4°C sommer, forår og efterår i perioden frem til 2075 i forhold til i dag (gennemsnit for de sidste 30 år). Samme model forudsiger en stigning i vintertemperaturen på 1-2 °C i samme periode. Hvordan en sådanne temperaturstigning vil påvirke fødegrundlaget for fisk i havet er meget usikker og kræver flere analyser. I det følgende vil der dog blive præsenteret nogle mulige følger af en temperaturstigning.

Mens produktionen af planteplankton (planktonalger) primært begrænses af lys og næringssalte så styres nedbrydningen og omsætningen af planteplanktonet især af temperaturen. I havmiljøet omsættes planktonalgerne af ciliater, vandlopper og bakterier i vandet, mens uomsatte planktonalger synker til bunden og udgør grundlaget for de bentiske fødekæder. Vandlopper er den vigtigste fødekilde for fiskelarver og pelagiske fisk og udgør dermed bindeledet mellem produktionen af planktonalger og fisk. I indre danske farvande følger sæsonvariationen i vandloppernes biomasse temperaturen i vandet med maksimum i juli-august og minimum i februar-marts. Forårsopblomstringen af alger i de indre danske farvande sker normalt i marts og ca. en måned senere i Østersøen og Nordsøen. I år med lave temperaturer (1-2 °C) om foråret omsættes kun en ubetydelig del i vandsøjlen, bl.a. fordi vandlopper og andre græssere er temperaturbegrænsede, mens en

langt større del af forårsopblomstringen omsættes af de pelagiske græssere i år med højere temperatur (Fenchel et al. 1992). En konsekvens er, at en større del af næringssaltene tilbageholdes i vandet og kan stimulere en højere algeproduktion også om sommeren. En øgning af temperaturen som forudsagt af klimamodellerne vil derfor alt andet lige favorisere de pelagiske fødekæder, fordi: 1) vandloppernes populationsvækst starter tidligere på året, 2) næringsstofferne tilbageholdes i vandet og kommer især det pelagiske system til gode (herunder også pelagiske fisk).

Hvor stor en del af det producerede planteplankton, som går videre via fødekæderne til fisk, afhænger også af hvor stor en andel der spises op af bakterier. Hovedparten af det bakterierne omsætter går tabt som grundlag for fiskeføde. En vurdering af hvordan en temperaturstigning vil påvirke omsætningen af planktonalger og grundlaget for føde til pelagiske fisk er usikkert. Det nuværende videngrundlag bygger på ekstrapolation ud fra korttids undersøgelser hhv. undersøgelser på enkelte metaboliske processer. På nuværende tidspunkt mangler der undersøgelser hvor langtidseffekter af forhøjede temperature undersøges i komplekse systemer indeholdende både bakterier, alge- og dyreplankton. Bakteriernes aktivitet øges relativt mere end planktonalge-produktionen (Pomeroy & Wibe, 1993). Herved mindskes fødegrundlaget for fisk generelt. Ved højere temperaturer vil artssammensætningen i algeplanktonet forskydes mod små algearter på bekostning af større arter af kiselalger og dinoflagellater (Andersson et al., 1994). En sådan forskydning fra store til små arter vil alt andet lige mindske fødegrundlaget for de pelagiske fisk.

I fjorde og kystvande spiller de pelagiske fødekæder en mindre rolle på grund af den mindre vandsøjle og hovedparten af det

producerede organiske stof omsættes i de bentiske fødekæder. Som for alle biologiske processer øges nedbrydningsraten og iltforbruget med temperaturen. Med en højere produktion som følge af øget tilførsel af næringssalte vil det totale iltforbrug ved bunden øges, men det er vanskeligt at forudsige konsekvenserne, idet det vil afhænge af den sæsonmæssige variation i tilførsel af organisk stof og tilgængelighed af ilt. Hvis temperaturen – og dermed iltforbruget - øges i perioder, hvor ilttilgængeligheden er god (f.eks. om efteråret) vil konsekvenserne være ubetydelige. Omvendt, hvis det øgede iltforbrug sker i perioder med lagdeling og ringe tilførsel af ilt, kan en højere temperatur forstærke iltsvindet.

Som det er gældende for omsætningen i vandsøjlen vil en højere temperatur øge mineraliseringshastigheden af næringssaltene i bunden. I dag bliver mange fjorde fosforbegrænsede umiddelbart efter forårsopblomstringen, fordi næringsstofferne er bundet i det organiske stof på bunden. En øgning af temperaturen i denne periode (april-maj) vil accelerere frigivelsen af fosfor fra bunden og således reducere “klart-vandsperioden”. Det er dog uklart om det vil kunne registreres.

Andersson A., Haecky P., Hagström Å (1994):  
Marine Biology 120:511-520

Fenchel T et al. 1992. Planktondynamik og stofomsætning i Kattegat – Planktons udbredelse i tid og rum, omsætning og kobling med havbunden. Havforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 10

Pomeroy L.R., Wiebe W.J. (1993) Marine  
Microbial Food Webs 7:101-118

## **Øget sandsynlighed for iltsvind i danske farvande – negative effekter på bunddyr og bundlevende fisk.**

**Kim Gustavson og Fleming Møhlenberg,  
DHI-Institut for Vand og Miljø.**

Bundvandets iltindhold har stor indflydelse på livsbetingelser for bunddyr og bundlevende fisk. Betydelige dele af vore fjorde og åbne farvande er siden begyndelsen af 1980'erne jævnligt blevet ramt af iltsvind. Iltforholdene i fjorde og åbne farvande har stor bevågenhed i offentligheden og medier, og det var bl.a. det omfattende iltsvind og deraf følgende jomfruhummerdød i Kattegat i 1986, som var medvirkende til iværksættelse af Vandmiljøplan 1 i 1988.

En sandsynlig effekt af det fremtidige klimaændringerne er en øge produktion af bl.a. planktonalger i havet. I danske farvande er der vist en tæt kobling mellem næringssalte, algeplankton og iltsvindshændelser. De tilladte næringssalte optages og anvendes til produktion af alger, der enten omsættes i fødekæderne eller sedimenteres til havbunden. Sedimentation af større algemængder kan forårsage iltsvindshændelser, når algerne nedbrydes.

Iltkoncentrationen ved bunden er resultatet af to modsatrettede processer, nemlig iltforbrug forårsaget af nedbrydningen af bl.a. sedimenterede planktonalger og ilttilførelsen, som er lav, når vandsøjlen er lagdelt, men høj når vandsøjlen omrøres af vinden. Med øget ferskvandsafstrømning og temperatur, som forudsagt af klimamodellerne, vil lagdelingen af både fjorde og åbne farvande forstærkes og med et uændret vindklima vil risikoen for iltsvind øges. Modelberegninger har dog vist, at vindhastigheden øges (Bakun 1990), hvilket måske kan kompensere for den forstærkede lagdeling.

Med en større afstrømning og tilførsel af næringssalte vil produktionen af planktonalger øges. I lavvandede områder såsom de danske fjorde vil kun en mindre del kunne omsættes i vandet og man kan forvente et yderligere tilskud af organisk stof til bunden og dermed et øget iltforbrug her. I dybere farvande vil en større del af den forøgede produktion kunne omsættes i vandsøjlen og stoftilførslen til bunden vil ikke øges i samme omfang som i fjordene.

Lave iltkoncentrationer ved bunden fører til en forarmelse af faunaen med tab af store og langlivede arter og favorisering af opportunistiske former. Generelt opfattes forringede iltforhold som den største trussel for biodiversiteten i havbunden (Diaz & Rosenberg, 1995).

Generelt kan det siges, at de meteorologiske forhold, især om sommeren og efteråret, sætter rammerne for risikoen for alvorligt iltsvind, mens størrelsen af næringssaltbelastningen betinger iltsvindets styrke og udbredelse. Store områder i danske farvande er ofte plaget af iltsvind og meget store områder i Østersøen er uden ilt og betegnes som ”død”. Den øgede afstrømning af næringssalte til vandmiljøet og den højere temperatur vil alt andet lige være med til at øge sandsynligheden og udbredelsen af iltsvind med det deraf følgende effekter på bunddyr og bundlevende fisk. Bunddyrenes lange generationstid og stationære levevis betyder ofte at det kan tage flere år før sammensætningen og mængden af bunddyr er tilbage til niveauet før et iltsvind.

Diaz, R., J. & Rosenberg, R. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 33: 245-303.

## **Effekten af klimaændringer på fisk i farvandene omkring Danmark**

Brian R. MacKenzie, Andre W. Visser  
Danmarks Fiskeriundersøgelser  
Kavalergården 6  
DK-2920 Charlottenlund  
Denmark

### **Forandringer i fiskepopulationernes artssammensætning**

De forudsigelser om klimaforandringer, som er skitseret i introduktionen i dette notat, tyder på, at temperaturen vil stige og saltholdigheden falde i farvandene omkring Danmark (Nordsøen, Skagerrak, Kattegat, Bælthavet og Østersøen). Disse forandringer danner grundlag for nedenstående diskussion. Hvis sådan forandringer indtræffer, kan de have stor betydning for de fiskepopulationer som p.t. forekommer i danske farvande.

Generelt er de specifikke processer, som er af betydning for fiskeforekomsters afhængighed af klimatiske forhold, ikke velkendte, og der plejer at være mange afvigelser forbundet med forudsigelser af fisks forekomst. I øjeblikket er det derfor kun muligt at lave begrænsede forudsigelser om hvordan klimaforandringer vil påvirke fiskeartssammensætning og forekomstmønstre i de danske farvande. Nogle generelle fremtidsscenarier kan dog opstilles, baseret på tidligere observationer, men mere nøjagtige prognoser vil kræve en grundigere oversigt over og analyse af det eksisterende fiskeri og miljømæssige informationer, samt yderligere kendskab til de processer som påvirker fiskeproduktion og overlevelse.

Til trods for den eksisterende begrænsede viden er der tre generelle forandringer som kan forventes:

For det første, vil overlevelse, vækst og reproduktion af fiskearter, som i øjeblikket findes i danske farvande, ændres i takt med at temperaturen stiger og saliniteten falder. Disse forandringer vil være gavnlige for nogle arter og skadelige for andre arter. Den relative mængdemæssige fordeling af arter, som i øjeblikket lever i danske farvande, vil derfor forandre sig.

For det andet, vil fiskepopulationernes artssammensætning forandres, efterhånden som ændringerne i temperatur og salinitet bliver markante. Vi kan forvente at se ”nye” arter komme ind i danske farvande samtidig med at eksisterende arter vil blive sjældnere eller uddø lokalt. Disse forandringer skyldes: (1) immigration af eksotiske arter, sandsynligvis fra mere sydlige, tempererede områder, (2) lokale arters succes/fiasco i forhold til at tilpasse sig de forandrede abiotiske vilkår, og (3) etableringen af immigrantarter som kan være direkte konkurrenter til eller prædatorer på arter som p.t. lever i danske farvande. Hvad der i øjeblikket ikke er entydigt klart er, hvilke arter der vil immigrere til eller forsvinde fra området, og hvorvidt fiskepopulationen overordnet set vil undergå markante ændringer med hensyn til diversitet og biomasse. Det er endvidere heller ikke enkelt at forudsige, hvorledes klimaforandringerne vil påvirke den genetiske mangfoldighed indenfor den enkelte art.

For det tredje er det forventeligt, at andelen af pelagiske og demersale arter inden for fiskepopulationerne vil forandres. Højere temperaturer og lavere salinitet vil resultere i længere planktonproduktionsæsoner og kan derfor favorisere de arter, som græsser direkte



på fyto-og zooplankton. Sådanne arter vil være sild, brisling og andre zooplanktivore arter.

### **Forandringsmekanismer:**

De arter som højst sandsynligt vil opleve de største forandringer i forekomstmængde (enten positivt eller negativt) er generelt de arter som i øjeblikket er tæt ved deres geografiske udbredelsesgrænser og som derfor allerede nu og da oplever stress på grund af naturlige variationer i temperatur, salinitet og iltkoncentration. Et eksempel på hvorledes klimaforandringer påvirker forkomst og fordeling af havdyr er kendt fra Grønland i perioden 1910-1930. Under denne opvarmningsperiode var det således muligt for flere forskellige havdyrarter (inkl. torsk) at leve ved Grønland selvom det ikke var muligt under tidligere (og senere) koldere perioder. En kontrastering af temperatur- og salinitetstolerancegrænser for forskellige fiskearter med de forudsagte klimaforandringer kan være et muligt udgangspunkt for en foreløbig forudsigelse af den fremtidige artssammensætning i danske farvande. I den forbindelse kan fiskefaunaen i Østersøen være specielt følsom overfor klimaforandringer, fordi Østersøen allerede har en lav fiskemangfoldighed sammenlignet med andre områder (f.eks. Nordsøen). De arter som i øjeblikket er dominerende i Østersøen (torsk, brisling og sild) er på kanten af deres temperatur og/eller salinitetstolerancegrænser.

Forholdet mellem mængden af fisk, produktion og temperatur- / salinitetsvariationer kan også kvantificeres statistisk. Disse forhold kan eventuelt bruges til at forudsige konsekvenserne af klimaforandringer på fiskemængden og artsmangfoldigheden. For eksempel ko-

varierer produktion og bærekapacitet for nogle arter i danske farvande med temperatur og salinitet (f.eks. torsk i henholdsvis Nordsøen og Østersøen). I nogle tilfælde kan miljømæssig påvirkning af disse variationer spores adskillige århundreder tilbage (f.eks. for sardin i den sydlige Nordsø og sild i Bohuslän området). Disse forhold samt det Grønlandske eksempel demonstrerer, at fiskefaunaen har forandret sig tidligere, og giver værdifuld viden om hvordan klimaændringer kan påvirke fiskefaunaen i fremtiden.

Klimaforandringer vil også påvirke artsinteraktioner (f.eks. prædation, konkurrence, sygdomme, parasitter) i lokale fiskepopulationer. F.eks. vil temperatur (salinitet) forandringer, som har større regulerende indflydelse på mængden af en vigtig rovfisk end dens bytteart føre til forbedret eller reduceret overlevelse af byttearten (f.eks. rødspætte – *Crangon crangon* i den sydlige Nordsø). På tilsvarende vis kan andre hovedfødeemner (f.eks. zooplankton, bentiske arter) for fiskearter i danske farvande vise sig at være mere følsomme overfor de forudsagte ændringer i temperaturer og salinitet end selve prædatoren, eller bytteforekomstmønstre blive mere påvirket af forandringer i stor-skala cirkulation (f.eks. indstrømning af Atlanterhavsvand som bringer copepoder ind i Nordsøen) end fiskearterne selv. Klimaforandringer kan derfor forventes at påvirke den danske fiskefauna via indirekte interaktioner som disse.

Endvidere kan klimaforandringer have direkte effekt på habitatkvaliteten for nogle fiskearter i danske farvande. Øget lagdeling, som et resultat af lavere salinitet og højere temperatur, kan føre til hyppigere tilfælde af iltvind i Nordsøen og Østersøen. Torskereproduktion i Østersøen er specielt

følsom overfor salinitet og iltforhold. Det vandvolumen, som har den rigtige salinitet og iltforhold, gennemløber signifikante år-til-år og sæsonmæssige variationer som er relateret til intensiteten af større indstrømninger fra Østersøen og temperatur. Varmere, ferskere betingelser og forandringer i regional skala cirkulationen forårsaget af klimaforandringer kan være skæbnesvangre for torskens reproduktionssucces i dette område.

## Sammendrag

Denne korte oversigt giver en preliminær indikation af den type af forandringer der kan opstå som følge af klimaforandringer, og den viden og nødvendige yderligere tiltag som kræves for at give endelige forudsigelser.

### Forventede konsekvenser af klimaændringer for sammensætningen af fiskearter i danske farvande

- Overlevelse, vækst og reproduktion hos fiskearter som i øjeblikket findes i de danske farvande vil forandres (nogle eksisterende arter vil drage nytte heraf, andre arter vil lide herunder)
- Artssammensætningen af fiskepopulationerne vil forandres (immigrantarter fra varmere og/eller ferskere områder vil blive mere fremherskende)
- Artsinteraktion (predation, konkurrence, sygdom, parasitter) og økosystem dynamik vil påvirkes og kunne føre til forandringer i fiskefaunaen
- Den samlede artsrigdom og mangfoldighed kan forandres, muligvis henimod en dominans af pelagiske arter

### Metoder til at forudsige den fremtidige klimaforandringsbetingede artssammensætning i danske farvande:

- Identificere temperatur- og salinitetstolerancegrænser for lokale arter og potentielle immigrant fiskearter og sammenligne disse med forudsigelser vedr. temperatur- og salinitetsændringer
- Identificere historiske sammenhænge mellem fiskemængde, produktion, økosystemets bærekapacitet og variationer i temperatur og salinitet
- Identificere temperatur- og salinitetstolerancegrænser for vigtige konstellationer af bytte- og rovdyr og sammenligne disse med forudsigelser vedr. temperatur- og salinitetsændringer
- Forbedre forståelsen af de processer som påvirker fiskeproduktion og fordelingsmønstre

*Udkast*

7. februar 2001

## **NOTAT**

**Klimaændringer og mulige effekter på rastende bestande af vandfugle**

**Preben Clausen, DMU, Afdeling for Kystzoneøkologi.**

## 1 BAGGRUND

De lavvandede farvande omkring Danmark har en meget stor betydning som rastepladser for trækkende og overvintrende bestande af vandfugle (f.eks. Laursen et al. 1997). Hovedparten af de udpegede EF-fuglbeskyttelsesområder er netop udpeget for at beskytte disse bestande af vandfugle, idet 78 af de 111 fuglebeskyttelsesområder er udpeget af hensyn til trækkende bestande af vandfugle (se Fig. 3 i dette notat), de resterende 33 under hensyntagen til bestande af sjældne ynglefugle (Clausen et al. 1997).

Betydningen af de lavvandede områder er endvidere bemærket i udarbejdelsen af gullisten i 1997 (Stoltze 1998). Ikke mindre end 27 vandfuglearter er nævnt i listen over gullistede fugle med koden AT, dvs. nationale ansvarsarter/trækfugle. Dvs. at >20% af disse arters bestande regelmæssigt raster her i landet.

På den baggrund er der al mulig grund til at overveje hvilken betydning evt. klimaforårsagede forandringer i naturlandskabet kan have på disse bestande af fugle.

Nærværende notat tager udgangspunkt i notatet "*Klimaændringer og mulige effekter på dyre- og plantelivet i danske farvande*" udarbejdet af Kim Gustavson, med bidrag fra en lang række personer og eksperter, hvori en række forventede effekter af mulige biologiske effekter af fremtidige klimaændringer er behandlet.

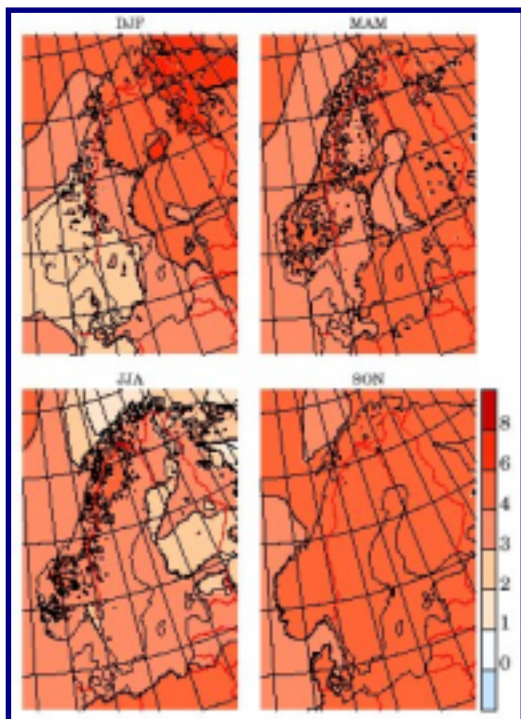
Det overordnede scenarie, der opstilles for langtidsvirkninger af drivhusgasserne, er:

**et fremtidigt klima med en betydelig stigning i temperaturen, forøgede nedbørsmængder, hyppige stormsituationer, samt følgevirkninger heraf – i form af især øget udvaskning og fordampning af næringsstoffer, ledende til en forventet forstærket effekt af allerede eksisterende eutrofieringseffekter i de lavvandede danske områder.**

## 2 FORVENTEDE EFFEKTER PÅ RASTENDE VANDFUGLEBESTANDE

### 2.1 Temperaturstigning

Da langt størstedelen af vandfuglene raster i landet forår/efterår og/eller overvintrer, er det især det forudsagte vinter-temperatur scenarie, der er interessant. Der tales om en stigning på 1 - 2°C i midvinterperioden december-februar. Jvf. Fig. 1 sakset fra notatet.



*Figur 1. Forskel i simuleret lufttemperatur ved jordoverfladen (grader Celsius) mellem klimaet omkring 2075 og klimaet i dag. Fra venstre mod højre: Vinter, forår, sommer og efterår. Figuren er baseret på 10 års tidsudsnitsberegninger udført ved Danmarks Klimacenter med modellen HIRHAM4 (Christensen, 2000).*

En sådan temperatur-stigning kan umiddelbart forventes at have den effekt, at en lang række arters overlevelse i vinterhalvåret forbedres. DMU og andre har igennem de sidste 20 år dokumenteret, at en lang række fuglearter har en betydelig forøget mortalitet i forbindelse med hårde vintre, det gælder f.eks. ansvarsarterne skarv, knopsvane, kortnæbbet gås og lysbuget knortegås (Andersen-Harild 1981, Clausen et al. 1998, Frederiksen & Bregnballe 2000, Clausen et al. in press, Madsen et al. in prep.).

En forøget overlevelse af flere af bestandene er i princippet glædeligt, hvis der er et ønske om at bestandenes størrelse skal være større end nu, men for en række af arterne kunne man forestille sig en forøget konflikt, f.eks. mellem fiskeriet/skarverne (skader på fisk + redskaber) og landbruget/kortnæbbet gås & knopsvane (græsningsskader på vinterafgrøder især). En række af disse arter tolder således i stigende grad på ressourcer, som mennesket mener at have krav på.

Derudover kan en forøget vinteroverlevelse potentielt få negative følger for fuglenes yngleområder. Hvis man tager udgangspunkt i Alerstam og Høgstedts' ( ) hypotese om, at

bestandstørrelsen for nogle arter er begrænsede i vinterkvartererne, for andre i yngleområderne, vil en evt. forskydning i balancen væk fra en begrænsning i vinterkvartererne potentielt have betydelige negative effekter på ynglepladserne.

Det ”klassiske” eksempel på problemstillingen er den aktuelle, nærmest ubegrænsede, vækst i en lang række gåsebestande i Nordamerika. Væksten menes at være forårsaget af, at gæssenes overlevelse i vinterhalvåret er radikalt forbedret, fordi gæssene har skiftet fra at fouragere i naturlige habitater (begrænsende ressource) til kulturafrøder (nærmest ubegrænset ressource). Dette har en afsmittende virkning på ynglepladserne, hvor der i 1990'erne er konstateret meget markante ødelæggelser af store tundraområder, som ikke kun udnyttes af gæssene som yngleområder, men som også udnyttes af betydelige mængder af ynglende vadefugle (f.eks. Batt 1998).

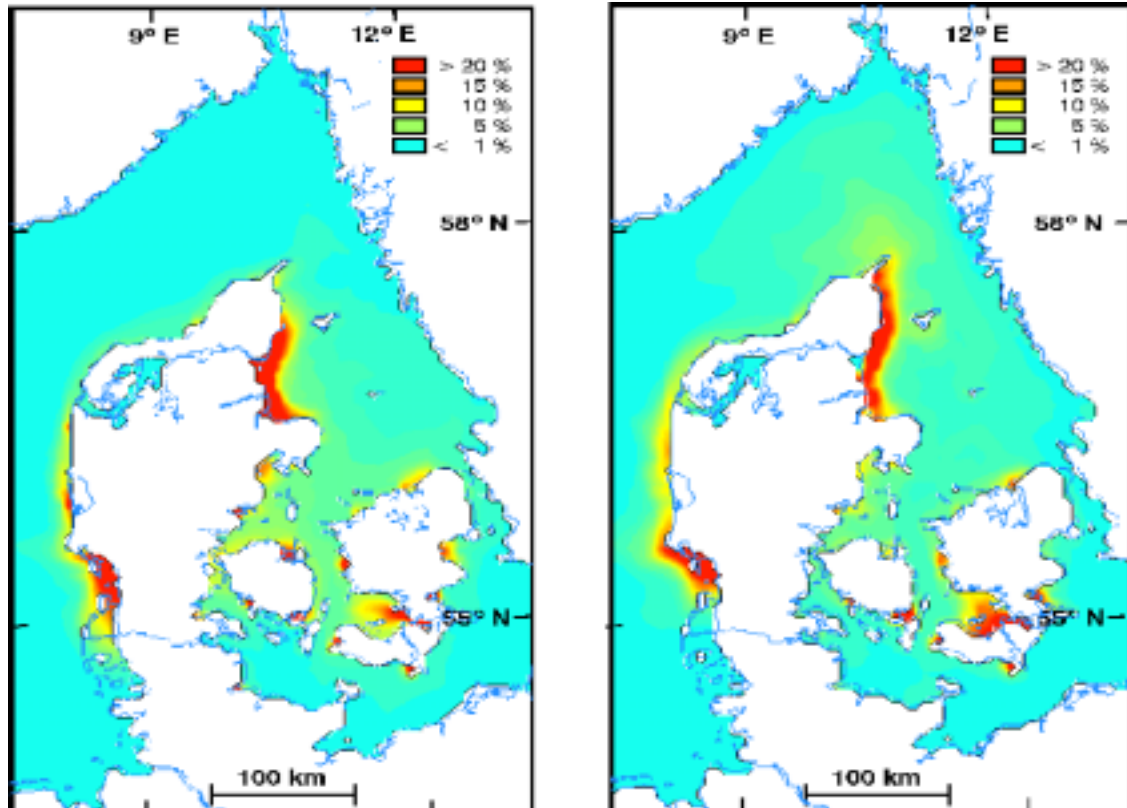
## **2.2 Øget nedbør**

Der forventes et scenarie med forøget nedbør. Det vil sikkert vil have negative effekter på yngleresultatet for en række fuglearter. Umiddelbart bedømt er det dog nok især følgevirkningerne af nedbøren, som vil have negative effekter på de rastende bestande af vandfugle.

Der tænkes især på den forventede forøgede udvaskning af næringsstoffer, og den deraf følgende eutrofiering. En lang række danske fjordområder er i forvejen stærkt belastede af eutrofiering, og der er eksempler fra en række af landets fornemste EF-fuglebeskyttelsesområder på at eutrofieringsbelastninger kan have ganske betydelige effekter på bundvegetationen af højere planter og dermed fødegrundlaget for en række vandfuglearter, hvor ansvarsarterne knop-, sang-, og pibesvane; de to bestande af knortegæs; samt pibeand og spidsand især rammes. Særligt velkendte er eksemplerne fra Ringkøbing Fjord i slutningen af 1970'erne (Kiørboe & Jensen 1988) samt Nisum Fjord i midten af 1980'erne (Clausen & Percival 1998), men desværre er andre betydende områder som det Sydfynske Øhav samt Nibe/Gjøl Bredninger blevet ramt af tilsvarende eutrofieringsbetingede ”nulstillinger” af fødegrundlaget for herbivore vandfugle i 1990'erne (DMU upubl. data).

I notatet illustreres de områder, der forventet især vil blive ramt af særligt store effekter af den forøgede udvaskning af næringsstoffer – med efterfølgende opblomstring af plankton alger, baseret på en analyse foretaget af Edelvang et al.

(se næste side).

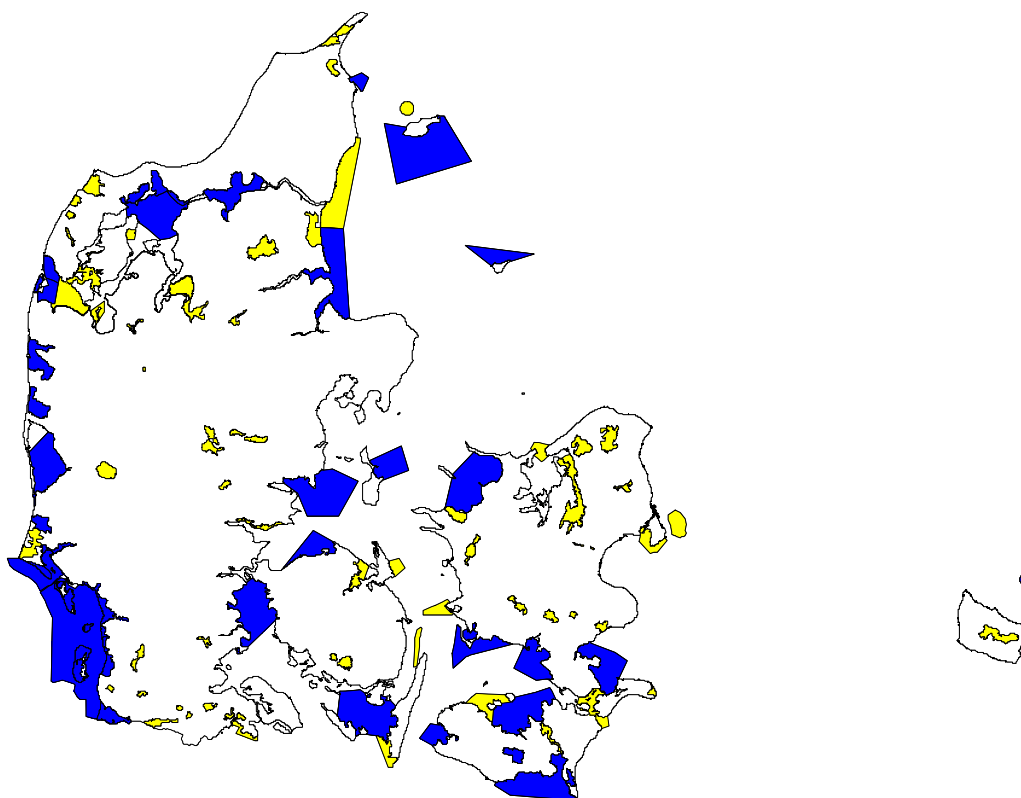


Figur 2 Gennemsnitlig procentvis forøgelse i vinter (januar & februar) koncentrationer af uorganisk kvælstof (venstre figur) og gennemsnitlig procentvis forøgelse i daglig produktion af plankton alger (højre figur) gennem vækstperioden (marts til september). De viste ændringer er beregnet ud fra en antagelse om, at øget nedbør vil betyde øget udvaskning af næringssalte til de danske marine områder (Edelvang et al.)

Bemærk at modellen er baseret på "Farvandsmodellen", som p.t. ikke omfatter Limfjorden, dvs. at den tilsyneladende mangel på effekt i Limfjordsområdet er et artefakt.

De forøgede mængder af plankton alger vil forventeligt have en ganske negativ effekt på bundvegetationen i en lang række områder, og der bemærkes et betydeligt sammenfald mellem røde områder (forringet miljøtilstand) og områder udpeget som Ramsar- og/eller EF-fuglebeskyttelsesområder (sammenlign Figur 2 med Figur 3).

# RAMSAR- og EF-fuglebeskyttelsesområder udpeget af hensyn til trækkende vandfugle



*Figur 3 Områder udpeget som RAMSAR- og/eller EF-fuglebeskyttelsesområder under hensyntagen til trækkende og overvintrende bestande af vandfugle (fra Clausen et al. 1997).*

og dermed et sammenfald mellem de truede områder, samt de jagt-og forstyrrelsesfrie kerneområder (sammenlign Figur 2 og Figur 4, næste side).

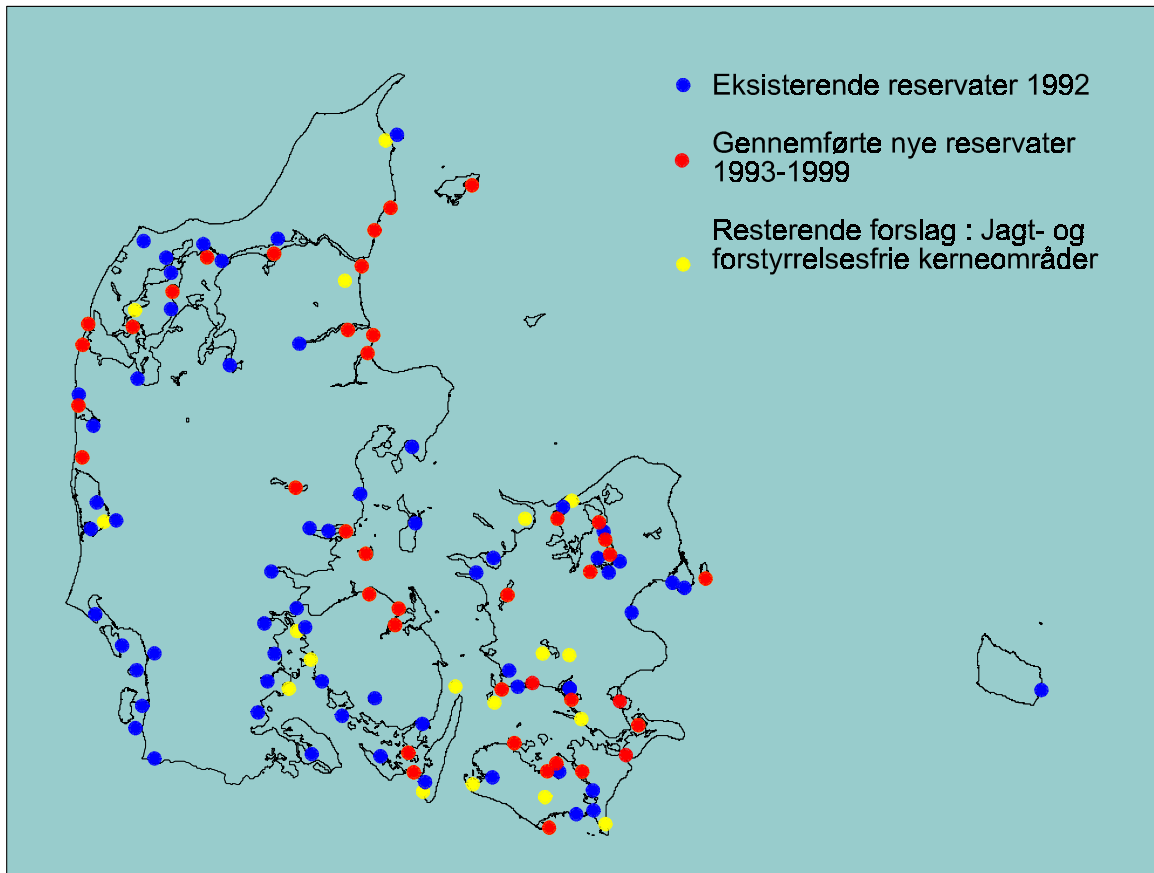
Hvorvidt de forøgede mængder af plankton alger vil have positive eller negative følgevirkninger for de overvintrende bestande af dykænder er meget svært at vurdere, idet det afhænger af om virkningerne i de mere åbne havområder er "positive" (øget produktion af mikroalger førende til øget produktion af bunddyr, især muslinger -> dukandeføde) eller "negative" (for høj produktion af mikroalger førende til iltsvind, og dermed stor dødelighed blandt muslingerne).

Skulle det sidstnævnte scenarie blive det fremherskende, vil internationalt betydende koncentrationer af især ederfugle, sortænder og bjergand, blive ramt i området nord for Djursland, de to førstnævnte arter endvidere i den nordlige del af Vadehavet.



# Jagt og forstyrrelsesfrie kerneområder

## Danmarks nye reservatnetværk



Figur 4 Oversigt over det danske reservatnetværk, anno 1999 (opdateret fra Clausen et al. 1997).

### 3 BEHOV FOR UNDERSØGELSER

Der foreligger til dato ingen danske, og kun ganske få udenlandske, undersøgelser, der fokuserer på de kombinerede effekter af klimaforandringer og deraf følgende vandstandsforandringer og eutrofieringseffekter.

Der foreligger imidlertid særdeles udmærkede udviklinger af tre-dimensionelle spatielle modeller for tilgængelighed af bundvegetation udner forskellige vandstandsscanarier (Clausen 1994; Clausen et al. 1996; Clausen 1998; Clausen, Therkildsen & Madsen 2000;

Clausen & Holm in prep.), som ved et tværinstitutionelt samarbejde vil kunne videreudvikles til at vurdere vandfuglenes fremtid i de lavvandede kystområder i et globalt opvarmet Danmark.

En sådan modeludvikling vil skulle trække på tilgængelige data fra en række værkstedsområder, f.eks. Agerø-området og Nibe Bredning i Limfjorden, Saltholm, og Ulvshale/Nyord, hvorfra lange tidsserier omkring fuglenes udnyttelse af fjord- og landhabitater under forskellige vandsstandsforhold allerede findes. En udbygning i et GIS-system med detailnivelleringer af landskabselementer, kombineret med dybde data fra "farvandsmodellen", vil formentlig være den mere tidskrævende videreudvikling, før fremtidsscenarier af forandringer i vandstandsforhold m.v. kan modelleres.

Effekter af eutrofiering kunne efterfølgende indbygges, i form af forøget "skygning". En sådan model er tidligere udviklet vedrørende bundvegetationen omkring Saltholm (Noer et al. 1996).

Videreudvikling i forhold til muslingelevende vandfuglebestande er også en mulighed, der dog kræver et betydeligt større udviklingsarbejde på data- såvel som modelområdet.

## 4      **REFERENCER**

- Andersen-Harild, P. (1981). Weight changes in *Cygnus olor*. Pp. 359-378 in Matthews, G.W.T. & Smart, M. (Eds.): *Proceedings of the 2nd International Swan Symposium, Sapporo, Japan*. International Waterfowl Research Bureau, Slimbridge, UK.
- Batt, B. (1998). Snow Geese – grandeur and calamity on an arctic landscape. Ducks Unlimited, Memphis, Tennessee.
- Clausen, P. (1994). Waterfowl as primary consumers in shallow water fiord areas. 126 pp. Ph.D. thesis. National Environmental Research Institute/University of Aarhus.
- Clausen, P. (1998). Choosing between feeding on *Zostera* and saltmarsh: factors affecting habitat use by brent geese in spring. *Norsk Polarinstitutt Skrifter* 200, 269-286.
- Clausen, P. (2000). Effects of water level changes in non-tidal areas on habitat choice and food quantity for *Zostera* feeding brent geese: a model approach. *Wildlife Biology* 6, 75-87
- Clausen, P. & Fischer, K. (1994). Lysbuget Knortegås *Branta bernicla hrota*: Forekomst og økologi i Vadehavet. *Dansk Ornithologisk Forenings Tidsskrift* 88, 9-22.
- Clausen, P., Kahlert, J., Andersen-Harild, P. & Nilsson, L. (1996). *Base-line Investigations of Moulting Mute Swans on Saltholm, 1993-95: Results and conclusions*. 59 pp. NERI Technical report, commissioned by Øresundskonsortiet, National Environmental Research Institute.
- Clausen, P., Madsen, J., Jepsen, P. U. & Søgaard, B. (1997). *Reservatnetværk for vandfugle*. TEMA-rapport fra DMU. No. 12. National Environmental Research Institute, Kalø.
- Clausen, P., Madsen, J., Percival, S. M., O'Connor, D. & Anderson, G. Q. A. (1998). Population develop-

- ment and changes in winter site use by the Svalbard light-bellied brent goose, 1980-94. *Biological Conservation* 84, 157-165.
- Clausen, P. & Percival, S. M. (1998). Changes in distribution and habitat use of Svalbard light-bellied brent geese *Branta bernicla hrota*, 1980-95. *Norsk Polarinstitutt Skrifter* 200, 245-268.
- Clausen, P., Therkildsen, O.R. & Madsen, J. (manus 2000). The ecology of an autumn staging guild of *Anas* species feeding on submerged macrophyte beds. I. A spatial model of food availability.
- Clausen, P., Frederiksen, M., Percival, S. M., Anderson, G. Q. A. & Denny, M.J.H. (in press). Seasonal and annual survival of East-atlantic Pale-bellied Brent Geese *Branta hrota* assessed by capture-recapture analysis. *Ardea* 000, 000-000.
- Frederiksen, M. & Bregnballe, T. (2000). Evidence for density-dependent survival in adult cormorants from a combined analysis of recoveries and resightings. *Journal of Animal Ecology* 69, 737-752.
- Kjørboe, T. & Jensen, J.S. (1988). Vegetationen og de planteædende svømmefugle på Tippergrunden i ringkøbing Fjord. Pp. 25-36 i Meltofte, H. (Ed.) *Naturpejlinger*. Skov- og Naturstyrelsen.
- Laursen, K., Pihl, S., Durinck, J., Hansen, M., Skov, H., Frikke, J., Danielsen, F. (1997). Numbers and distribution of waterbirds in Denmark 1987-1989. *Danish Review of Game Biology* 15 (1): 1-181.
- Noer, H., Fox, A. D., Clausen, P., Petersen, B. M., Kahlert, J. & Christensen, T. K. (1996). *Effects of the Construction of a Fixed Link across Øresund on Waterfowl Populations: Environmental Impact Assessment*. 114 pp. NERI Technical report, commissioned by Øresundskonsortiet, National Environmental Research Institute.